

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

Федеральное агентство по образованию РФ
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Красноярский государственный технический университет

Е.А. Бойко

ПАРОВЫЕ КОТЛЫ

(учебное пособие)

Красноярск 2005

Содержание

1. Учебная цель	3
1.1. Основные термины и понятия	3
2. Содержание учебного элемента	3
2.1. Основы теплоэнергетики	3
2.1.1. Основные физические параметры пара	3
2.1.2. Энергия и ее виды	5
2.1.3. Основные виды теплообмена, теплоемкость и энтальпия	7
2.1.4. Свойства водяного пара	9
2.1.5. Топливо	10
2.1.6. Продукты сгорания топлива	17
2.2. Устройство котельных установок	20
2.2.1. Технологические схемы котельных установок	20
2.2.2. Схемы котлов	21
2.2.3. Топки для сжигания жидкого и газообразного топлива	35
2.3. Барабаны котлов	43
2.3.1. Устройства для очистки пара в барабане котла	43
2.3.2. Ступенчатое испарение	49
2.4. Экраны котлов	53
2.4.1. Экраны котлов с естественной циркуляцией воды	53
2.4.2. Изменение уровня воды в барабане	54
2.4.3. Тепловые перемещения экранов	56
2.4.4. Периодическая продувка экранов	56
2.4.5. Коррозия экранных труб	57
2.5. Пароперегреватели	60
2.5.1. Конструкции пароперегревателей	60
2.5.2. Регулирование температуры пара при работе котла	64
2.5.3. Устройства для регулирования температуры пара	67
2.5.4. Работа пароперегревателя при растопке котла	71
2.6. Экономайзеры, воздухоподогреватели	73
2.6.1. Схемы хвостовых поверхностей нагрева	73
2.6.2. Экономайзер и питание его водой	75
2.6.3. Воздухоподогреватели	78
2.6.4. Неполадки в работе экономайзеров и воздухоподогревателей	81
2.6.5. Золоулавливающие устройства	83
2.7. Тяга и дутье	84
2.7.1. Устройство вентиляторов и регулирование их производительности	84
2.7.2. Тяго – дутьевая установка котла	88
2.8. Каркас и обмуровка котлов	92
2.8.1. Каркасы котлов	92
2.8.2. Обмуровка котлов	94
2.9. Наружная и внутренняя очистка поверхностей нагрева	102
2.9.1. Наружная очистка радиационных поверхностей нагрева	102
2.9.2. Наружная очистка вертикальных трубных пакетов	103
2.9.3. Очистка регенеративных воздухоподогревателей	106
2.10. Арматура котлов	108
2.10.1. Вентили и задвижки	108
2.10.2. Клапаны	112
2.10.3. Водоуказательные приборы (указатели уровня)	116
2.11. Контроль за работой котла	120
2.11.1. Основные измерительные приборы	120
2.11.2. Размещение приборов на тепловом щите	123
2.12. Управление работы котла	124
2.12.1. Дистанционно управление	124
2.12.2. Автоматическое регулирование	125
2.12.3. Автоматическая защита	129
2.13. АСУ ТП и эффективность работы персонала	130
3. Резюме	133
4. Литература	134

ПАРОВЫЕ КОТЛЫ

1. УЧЕБНАЯ ЦЕЛЬ

Целью обучения является овладение персоналом навыками выполнения должностных обязанностей по работам, связанным с эксплуатацией и ремонтом паровых котлов.

1.1. Основные термины и понятия

Термодинамика – наука о закономерностях превращения энергии.

Термодинамическая система – совокупность материальных тел, взаимодействующих как между собой, так и с окружающей средой.

Окружающая или внешняя среда – все материальные тела, находящиеся за пределами границ термодинамической системы.

Параметры состояния – условия, при которых рассматриваются состояния вещества. Наиболее распространенными параметрами состояния являются абсолютная температура, абсолютное давление и удельный объем.

Термодинамический процесс – совокупность изменяющихся состояний термодинамической системы при изменении хотя бы одного из параметров.

Теплопроводность – процесс переноса тепла от более нагретых тел к менее нагретым при их соприкосновении.

Теплоемкость – способность тела (материи) поглощать определенное количество тепла при нагревании и отдавать его при охлаждении.

Энтальпия (теплосодержание) – от греческого слова нагревать, определяет энергетическую ценность тела, материи.

2. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО ЭЛЕМЕНТА

2.1. Основы теплоэнергетики

2.1.1. Основные физические параметры пара

Основными параметрами пара являются: давление (P), температура (t , T) и удельный объем (v).

Давление. В системе СИ за единицу измерения давления принят паскаль (Па).

Паскаль – давление, создаваемое силой в 1 ньютон (Н), которая равномерно распределена по поверхности площадью в 1 м^2 . $1 \text{ Па} = 1 \text{ н/м}^2$.

В системе МКГСС давление измеряют в кгс/см^2 и называют технической атмосферой. $1 \text{ кгс/см}^2 = 10^4 \text{ кгс/см}^2$.

Давление измеряют также высотой столбца жидкости в метрах водяного столба (м.вод.ст.) или миллиметрах ртутного столба (мм.рт.ст.).

Давление 760 мм.рт.ст. называют физической атмосферой.

Давление разделяют на атмосферное, избыточное и абсолютное.

Атмосферное давление измеряют барометрами и называют барометрическим – $P_{бар}$.

Если на поверхность, кроме атмосферного давления, действуют какие-либо другие силы, они создают избыточное давление $P_{изб}$. Избыточное давление измеряют манометрами и поэтому называют манометрическим.

Абсолютное давление $P_{абс}$ определяют путем суммирования избыточного $P_{изб}$ и атмосферного давлений $P_{бар}$.

$$P_{абс} = P_{изб} + P_{бар}$$

Давление ниже барометрического (вакуум, разрежение) измеряют вакууметром. Разрежение определяют по формуле:

$$P_{вак} = P_{бар} - P_{абс}$$

Соотношение между единицами измерения давления различных систем приведено в таблице 1.

Таблица 1

Соотношение между единицами давления

Единица	Па	кгс/см ²	бар	мм.вод.ст	мм.рт.ст
Па	1	$1,02 \cdot 10^{-5}$	10^{-5}	0,102	$7,5 \cdot 10^{-3}$
кгс/см ²	$9,8 \cdot 10^4$	1	0,98	10^4	$7,35 \cdot 10^2$
Бар	10^5	1,02	1	$1,02 \cdot 10^4$	$7,5 \cdot 10^2$
мм. вод. ст.	9,8	10^{-4}	$9,8 \cdot 10^{-5}$	1	$7,35 \cdot 10^{-2}$
мм. рт. ст.	$1,33 \cdot 10^2$	$1,36 \cdot 10^{-3}$	$1,33 \cdot 10^{-2}$	13,6	1

Температура. Температура характеризует степень нагретости тела и измеряется в градусах Цельсия (°C) или Кельвинах (K).

Температуру в градусах Цельсия отсчитывают от точки таяния льда (0 °C), а в Кельвинах – от абсолютного нуля, температура которого принята – 273,15 °C.

Шкала температур в K называется термодинамической или абсолютной.

Связь между температурой, измеренной в Кельвинах (T) и градусах Цельсия (t), определяют соотношениями

$$T = t + 273,15 \text{ K}$$

$$T = T - 273,15 \text{ °C}$$

Удельный объем. Объем в 1 м³, заполненный однородным телом массой в 1кг, называют удельным объемом.

$$\nu = V/m, \text{ м}^3/\text{кг};$$

где V – объем тела, м³; m – масса тела, кг;

Величина, обратная удельному объему, называется плотностью ρ

$$\rho = 1/v = m/V, \text{ кг/м}^3$$

2.1.2. Энергия и ее виды

Энергия – это способность тела или системы тел совершать работу. Энергию разделяют на первичную (солнечная энергия, ветровые потоки, движение воды, энергия топлива, внутренняя теплота Земли, радиоактивные излучения и т.д.) и вторичную, которая вырабатывается за счет первичной, например на тепловых электростанциях.

Материя состоит из молекул и атомов, которые находятся в беспорядочном хаотическом движении.

Под энергией понимают различные формы движения материи. В зависимости от формы движения материи энергии принято разделять на механическую, тепловую, внутреннюю, электрическую, химическую, ядерную и др.

Тепловая энергия, или теплота тела, - это энергия беспорядочного движения микрочастиц.

Чем выше интенсивность движения этих частиц, тем больше тепловой энергией, или теплотой, располагает тело. Можно сказать, чем выше температура данного тела, тем большей тепловой энергией оно располагает.

В системе СИ за единицу измерения энергии, в том числе и тепловой, принят джоуль (Дж).

Для измерения тепловых величин применяют внесистемные единицы, за основу которых взята калория (кал) или килокалория (ккал). Килокалория (ккал) равна количеству тепла, которое необходимо передать 1 кг воды при атмосферном давлении для повышения его температуры на 1 °С. $1 \text{ ккал} = 4,18 \cdot 10^3 \text{ Дж}$.

Все виды энергии, один в большей, а другие в меньшей мере, обладают способностью переходить (превращаться) в другие виды, причем при переходе одного вида энергии в другой ее суммарное количество остается неизменным.

Это свойство энергии формируется как основной закон природы – *закон сохранения и превращения энергии*, открытый В.М. Ломоносовым: движение материи (энергия) не возникает из ничего и не исчезает бесследно, а превращается из одной формы в другие в строго определенных количествах.

Разновидностью закона сохранения энергии является первый закон термодинамики: теплота и работа при определенных условиях могут преобразовываться друг в друга в эквивалентных количествах.

Можно и так: энергия не исчезает и не возникает вновь, она лишь переходит из одного вида в другой в различных физических и химических процессах.

Другими словами, за счет некоторого количества тепла можно совершить эквивалентную работу, т.е.

$$Q = AL,$$

где Q – количество теплоты, ккал; A – совершаемая работа, кгс/м; L – тепловой эквивалент работы, полученный опытным путем и равный 1/427 ккал/кгс/м

В общем случае тепло, подведенное к телу, может не полностью затрачиваться на совершение работы, а частично расходоваться на изменение внутренней энергии тела. В том случае газ изменит свою внутреннюю энергию (нагреется), расширяясь, совершит работу и переместит поршень.

Внутренняя энергия – тела складывается из энергии поступательного и вращательного движения молекул, составляющих тело, энергии внутримолекулярных колебаний, потенциальной энергии сил сцепления между молекулами, внутримолекулярной, внутриатомной (энергии электронных оболочек атомов) и внутриядерной энергии.

Если первый Закон термодинамики характеризует процессы превращения энергии с количественной стороны, (то есть устанавливает количественное соотношение между теплом и работой при их взаимном превращении), то **второй Закон** термодинамики характеризует качественную сторону этих процессов (то есть определяет условия при которых происходят эти превращения).

Согласно второму Закону термодинамики невозможно превратить в работу все тепло, подведенное к рабочему телу.

Часть тепла необходимо отдать другому телу с более низкой температурой, то есть холодному источнику (конденсатору турбины, окружающей среде, в которую выбрасываются выхлопные газы двигателей внутреннего сгорания или уходящие газы с котлов).

С точки зрения преобразования тепловой энергии в механическую, эта часть тепла оказывается потерянной. Таким образом, для периодически действующей машины – двигателя необходимо иметь два источника тепла: горячий, получаемый, например, за счет сгорания топлива, и холодный, например, конденсатор турбины.

Закону сохранения энергии подчинены все энергетические изменения, как в естественном виде в природе, так и в технике. Примером действия Закона превращения энергии в технике служит получение электричества.

На тепловой электрической станции первичная внутренняя энергия топлива при сгорании его в топках котлов превращается в тепло продуктов сгорания. Это тепло нагревает воду и превращает ее в пар, который подается на турбину.

В турбине тепловая энергия пара переходит в кинетическую энергию движущейся струи пара.

Пар, проходя с большой скоростью между лопатками турбины, заставляет ротор турбины вращаться.

Механическая энергия вала турбины передается электрогенератору, в котором она превращается в электрическую. Однако в процессе перехода энергии из одного вида в другой часть ее не удастся полезно использовать. Это объясняется потерями энергии в конденсаторе турбины, с уходящими газами из котлов, рассеиванием тепла в окружающую среду, неполным сгоранием топлива, затратами на преодоление сил трения и т.д.

Степень полезного использования энергии при ее превращениях в устройствах и механизмах определяет коэффициент полезного действия (КПД) машины или установки. Таким образом, КПД (η) характеризует степень совершенства паросиловой установки, ее механизмов и устройств.

В современных паровых котлах удается использовать 90÷95% внутренней энергии топлива.

Существует целый ряд различных формулировок второго закона термодинамики.

Наиболее общая формулировка второго закона термодинамики: любой самопроизвольный процесс является необратимым.

А вот частные случаи приведенной выше общей формулировки. Из числа частных формулировок следует отметить формулировку Клаузиуса – «...теплота не может сама собой переходить от более холодного тела к более нагретому».

А вот что говорит Планк – «Невозможно построить периодически действующую машину, все действия которой сводились бы к поднятию некоторого груза и охлаждению теплового источника».

Согласно последней формулировке для создания теплового двигателя необходимо иметь как минимум два тепловых источника.

2.1.3. Основные виды теплообмена, теплоемкость и энтальпия

Теплообмен, т.е. процесс переноса тепла, осуществляется тремя способами: теплопроводностью, конвекцией и излучением.

Теплопроводность, примером теплопроводности является распространение тепла Q через плоскую разделительную стенку толщиной δ (рис. 1).

Распределение температур в плоской стенке

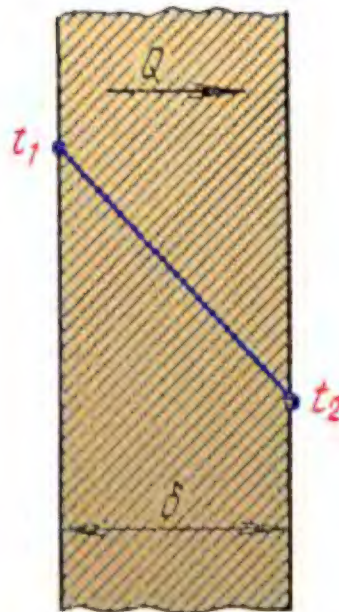


Рис. 1

Количество тепла, проходящего через стенку будет равно

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} (t_1 - t_2) F,$$

где Q – количество тепла, проходящего через стенку, ккал/час; λ – коэффициент теплопроводности, ккал/м · ч · град; δ – толщина разделительной стенки, м; $(t_1 - t_2)$ – разность температур между противоположными поверхностями разделительной стенки, °С; F – поверхность разделительной стенки, м².

Конвекция – процесс переноса тепла благодаря перемещению нагретых частиц.

Излучение – процесс передачи тепла в виде лучистой энергии.

Нагретое тело излучает энергию в виде электромагнитных колебаний, другое тело поглощает энергию и нагревается.

В котельном агрегате тепло от продуктов сгорания к воде или пару передается при сложном теплообмене, то есть всеми тремя способами.

В топке большая часть тепла передается излучением, а в хвостовых поверхностях нагрева – конвекцией.

В обоих случаях тепло от продуктов сгорания к воде или пару передается через стенку трубы посредством теплопроводности. Внутренние или наружные отложения (загрязнения) поверхностей нагрева в виде накипи или отложений сажи снижают теплопроводность и вызывают перегрев металла труб.

Теплоемкость. Под удельной теплоемкостью (C) понимают количество тепла в ккал, которое необходимо затратить, чтобы нагреть 1 кг вещества на 1 °С. Удельная теплоемкость имеет размерность ккал/кг·град.

Теплоемкость газов зависит от их природы, температуры и условий, в которых происходит нагревание или охлаждение.

Если процесс подвода тепла происходит при постоянном давлении, то тепло расходуется на нагревание газа и его расширение, то есть совершение работы.

При нагревании газа при постоянном объеме все тепло затрачивается на увеличение его внутренней энергии, то есть на повышение температуры газов.

В связи с этим теплоемкость газа при постоянном давлении C_p всегда больше теплоемкости при постоянном объеме C_v .

В котельных установках чаще пользуются теплоемкостью при постоянном давлении, которую находят для определенных условий по таблицам и графикам.

Энтальпия (i) определяет работоспособность рабочего тела и для процессов, протекающих при постоянном давлении (C_p), численно равна количеству тепла, передаваемого рабочему телу в процессе его нагревания

$$i = C_p t,$$

где i – энтальпия, ккал/кг; C_p – удельная теплоемкость газа при постоянном давлении, ккал/кг·град; t – температура, °С

Из формулы видно, что с повышением температуры физического тела его энтальпия, а следовательно, и работоспособность увеличиваются.

2.1.4. Свойства водяного пара

Известно, что на поверхности воды непрерывно происходит процесс испарения, заключающийся в том, что отдельные молекулы покидают массу воды и переходят в воздух. Испарение – это естественный процесс, зависящий только от атмосферных условий.

Кипение, или преобразование, - процесс с образованием пара внутри жидкости, происходящий при непрерывном подводе тепла к массе жидкости. При этом каждому значению давления соответствует своя температура кипения (t_s или t_k).

Например, атмосферному давлению соответствует $t_k = 99,1$ °С, при большем давлении температура кипения повышается, при меньшем – понижается.

Если кипение жидкости происходит в закрытом сосуде, то под жидкостью образуется пар, содержащий капельки влаги. Такой пар называется **влажным насыщенным**.

При этом температура влажного пара t_n и кипящей жидкости одинакова и равна температуре кипения t_k .

Если продолжать непрерывно подводить тепло, то вся вода, включая распыленные капельки, превратятся в пар. Такой пар называют **сухим насыщенным**.

Температура сухого насыщенного пара также равна температуре кипения t_k , соответствующей данному давлению.

Количество тепла, необходимое для полного превращения в пар 1 кг жидкости, нагретой до температуры кипения t_k , называется скрытой теплотой парообразования. Величина скрытой теплоты парообразования зависит от давления, при котором происходит процесс парообразования. Так при атмосферном давлении скрытая теплота парообразования равна примерно 540 ккал/кг. Более высоким значениям давления насыщенного пара соответствует меньшая теплота парообразования, а более низким давлениям – большая теплота парообразования.

Однако энтальпия насыщенного пара с повышением давления до 40 кгс/см² возрастает. Это объясняется, что с увеличением давления повышается температура кипения жидкости и, следовательно, ее энтальпия.

Таким образом, энтальпия 1 кг сухого насыщенного пара превышает энтальпию 1 кг кипящей воды при данном давлении на величину скрытой теплоты парообразования.

Для давления 14 кгс/см² энтальпия сухого насыщенного пара в 3,4 раза превышает теплосодержание воды. Поэтому пар является более ценным теплоносителем, чем вода.

Энтальпия влажного насыщенного пара в отличие от сухого насыщенного пар не определяется однозначно для данного давления, а зависит от количества содержащейся в паре влаги. Величина, определяющая количество сухого пара в 1 кг влажного пара в процентах, называется степенью сухости пара, или паросодержанием (x).

При паросодержании равном $x = 80\%$, количество сухого пара в 1 кг влажного насыщенного пара составляет 0,8 кг, остальное 0,2 кг приходится на долю воды.

Очевидно, что паросодержание $x = 100\%$ отвечает состоянию сухого насыщенного пар, а $x = 0$ – состоянию кипящей жидкости.

Дальнейший нагрев сухого насыщенного пара при неизменном давлении приведет к повышению его температуры. Пар, температура t_n которого для определенного давления превышает температуру насыщенного пара t_n , называется перегретым.

Разность температур между перегретым и насыщенным паром ($t_n - t_n$) называется перегревом пара.

Перегретый пар не содержит капелек влаги и имеет более высокую по сравнению с насыщенным паром температуру, поэтому его энтальпия, а следовательно, и работоспособность выше. Таким образом, при использовании перегретого пара в качестве рабочего тела стремятся повысить его температуру.

2.1.5. Топливо

Тепловую энергию получают за счет сжигания топлива, то есть за счет внутренней химической энергии горючих веществ. Топливом называется горючее вещество, сжигаемое для получения тепла и используемое в качестве источника энергии.

Топливо в зависимости от способа получения подразделяется на естественное и искусственное.

К **естественному топливу** относятся ископаемые угли, дрова, торф, сырая нефть, природные газы и др.

Искусственное топливо получают в результате процесса переработки углей (каменноугольный кокс, брикеты, древесный уголь и пр.), сырой нефти (мазут, солярка, бензин, керосин и пр.), природных газов, горючих сланцев и др.

В зависимости от физического состояния топливо бывает твердым, жидким и газообразным.

Топливо состоит из горючих веществ: углерода, водорода, их соединений (углеводородов) и соединений с другими химическими элементами, а также негорючих (балластных): влаги, золы.

Сера при сгорании образует некоторое количество серного ангидрида SO_3 , который соединяясь с водой и образуя серную кислоту H_2SO_4 , вызывает интенсивную коррозию поверхностей нагрева котельного агрегата (воздухоподогревателя и водяного экономайзера).

Влага затрудняет воспламенение топлива, потребляя значительное количество тепла на свое испарение. Большая часть тепла, затраченная на испарение влаги, выбрасывается в атмосферу с дымовыми газами. Часть водяных паров конденсируется на поверхностях нагрева котельного агрегата и вызывает их коррозию.

Зола загрязняет поверхности нагрева котла и затрудняет передачу тепла элементами котла, а также увеличивает эксплуатационные расходы на удаление шлаков и золы из котельной.

В связи с этим в котельных установках стремятся использовать качественные жидкие и газообразные топлива: мазут, природный газ, попутные газы нефтепереработки, а также отходы металлургического производства – коксовый и доменные газы.

Качество топлива определяют его теплотворной способностью (теплотенностью или теплотой сгорания).

Теплотворной способностью топлива называется количество тепла, выделяемого при полном сгорании 1 кг твердого или жидкого, а также 1 м³ газообразного топлива.

Если теплотворная способность определена без учета конденсации всех водяных паров, образовавшихся при сгорании, ее называют низшей теплотворной способностью и обозначают Q_n^p . Буква p говорит о том, что теплотворная способность определена на рабочую массу топлива.

Дело в том, что все ископаемые топлива – как угли, так и нефть, сланцы и природный газ – являются остатками растений или животных организмов. Чем древнее твердое топливо, тем, как правило, меньше в нем характерных для растений смолистых веществ (так называемых летучих) и тем больше углерода.

Продукты распада растений и низших животных организмов образуют в твердом топливе его горючую массу, состав которой, несколько разнящийся для отдельных его месторождений, определяется, в основном, содержанием в топливе летучих веществ.

В верхней и нижней частях (рис. 2) схематически показано, что в одном из наиболее древних углей – антраците содержание углерода в горючей массе наибольшее, а содержание кислорода и летучих веществ наименьшее.

На рис. 2 и 3 можно видеть, из каких элементов состоит горючая масса ископаемых топлив.

Из пяти указанных на схемах составных элементов топлива лишь углерод, водород и сера выделяют тепло при сгорании. Однако водород, азот и сера, взятые вместе, составляют лишь небольшую часть горючей массы.

Это видно по высоте белых полосок на верхних столбцах на рис. 2. Основное количество тепла при сгорании печей всех твердых топлив выделяется при сгорании углерода.

Кроме горючей массы, в состав топлива входят и неорганические вещества; они образуют золу угля.

Горючую массу вместе с углем называют сухой массой.

Рабочей массой топлива называется сухая масса вместе с содержащейся в топливе влагой.

Сравнительные характеристики мазута и различных твердых топлив

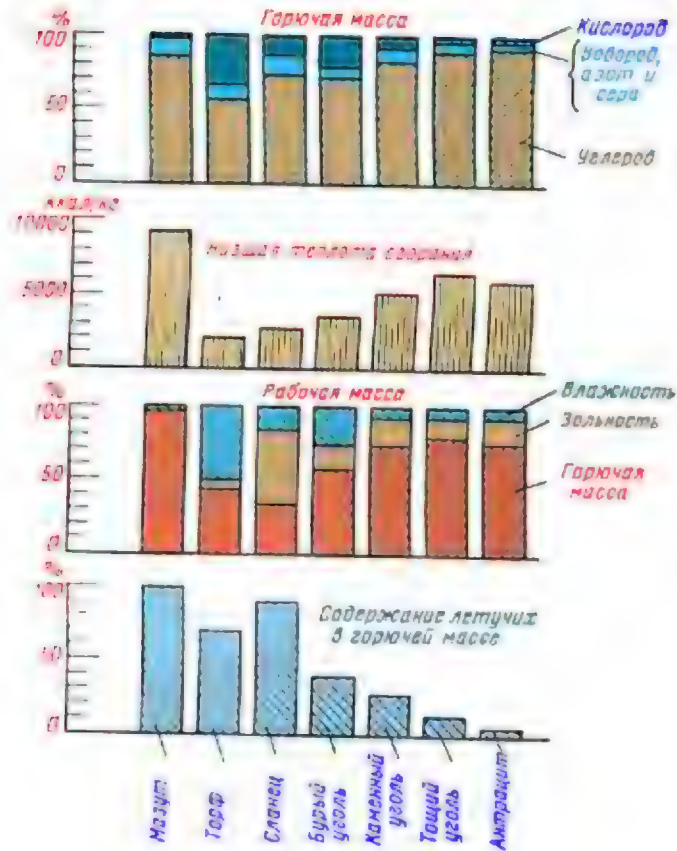


Рис. 2

Схема элементарного состава твердого топлива

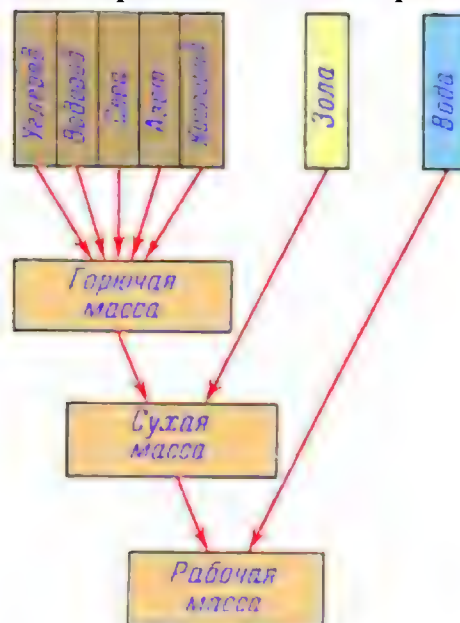


Рис. 3

Связь между горючей, сухой и рабочей массой топлива схематически изображена на рис. 2 и 3.

Количество и состав золы топлива зависит от того, среди каких минеральных веществ происходило разложение растений, из которых образовалось топливо.

Содержание золы значительно разнятся в топливах отдельных месторождений. Различно и содержание в них влаги. Столбики на рис. 2 приблизительно показывают средние характеристики отдельных газообразных топлив.

Основной частью природного газа, добываемого из недр земли отдельно от нефти, является метан (именуемый иногда «болотным газом»).

Сравнительные характеристики различных газообразных топлив

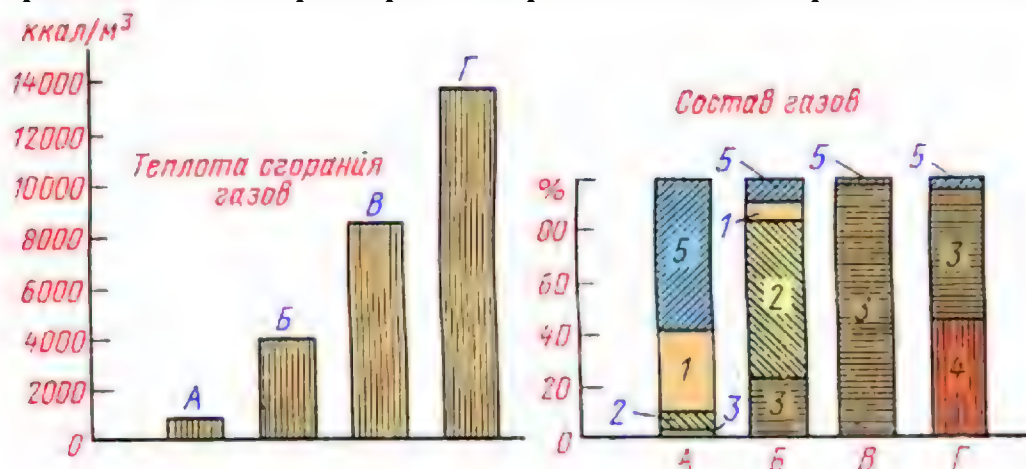


Рис. 4

А — доменный газ; Б — коксовый газ; В — природный газ Ставропольского месторождения; Г — попутный газ Мухановского месторождения в Куйбышевской области; 1 — окись углерода; 2 — водород; 3 — метан; 4 — этан, пропан и другие углеводороды; 5 — балласт (азот и углекислый газ)

Гораздо меньше тепла выделяется при сгорании доменного газа, в котором около 70% объема является негорючим балластом — азотом и углекислотой, а горючая часть состоит в основном из окиси углерода (угарного газа), выделяющей при сгорании сравнительно мало тепла, но чрезвычайно ядовитой.

При добыче нефти почти всегда вместе с ней извлекается нефтяной (ппутный) газ, количество которого на 1 тонну нефти может изменяться в весьма широких пределах (от 20 до 300 м³/т).

В нефтяном газе обычно содержится большое количество предельных углеводородов (этана, пропана, бутана и др.), являющихся ценным сырьем для химических заводов, а при сжигании обеспечивающих более высокую теплоту сгорания, чем у природного газа (рис. 4).

Для сравнения расхода топлива с различной теплотворной способностью применяют понятие «условное топливо», под которым понимают топливо, теплота сгорания которого равна 7 000 ккал/кг.

Сравнивая рабочее топливо с условным, определяют его топливный эквивалент $\mathcal{E}_m$ по формуле:

$$\mathcal{E}_m = \frac{Q_p}{7000}$$

Используя этот топливный эквивалент, расход рабочего топлива приводят к условному по формуле :

$$B_{yc} = \mathcal{E}_m B$$

где B_{yc} – часовой эквивалент условного топлива, кг/ч;

$\mathcal{E}_m$ – топливный эквивалент рабочего топлива;

B – часовой расход рабочего топлива, кг/ч.

Тепло, выделяемое в топке котла при сжигании топлива, используется не полностью, так как часть тепла расходуется на покрытие тепловых потерь.

Баланс тепла котельного агрегата, считая на 1 кг сжигаемого топлива, можно представить в виде следующего равенства:

$$Q_p^p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6,$$

где Q_p^p – располагаемое тепло, ккал/кг;

Q_1 – полезно используемое тепло, получаемое в виде пара или горячей воды, ккал/кг;

Q_2 – потеря тепла с уходящими из котла и выбрасываемыми в атмосферу продуктами сгорания (газами), ккал/кг;

Q_3 – потеря тепла от химической неполноты сгорания, ккал/кг;

Q_4 – потеря тепла от механической неполноты сгорания (потери в провале, шлаке, уносе), ккал/кг;

Q_5 – потеря тепла всеми элементами котельного агрегата в окружающую среду, ккал/кг;

Q_6 – потеря с физическим теплом шлаков, ккал/кг.

Из уравнения баланса тепла видно, что чем больше потери тепла, тем меньше полезно используется тепло Q_1 , так как $Q_1 = Q_p^p - \sum Q_i$.

Экономичность работы котла оценивают коэффициентом полезного действия, который равен отношению количества полезно использованного тепла на 1 кг сжигаемого топлива к располагаемому теплу.

$$КПД(\eta) = \frac{Q_1}{Q_p^p} 100\%$$

Сокращение тепловых потерь приводит к повышению η котельного агрегата и экономии топлива.

Поэтому при монтаже и наладке котельных агрегатов особое внимание следует обращать на правильную установку горелок и поточных устройств, а также обеспечить максимальную плотность газовоздушного тракта и обмуровки.

Для котлов работающих на жидком и газообразном топливе или их смеси, применительно к потерям тепла, разговор можно вести только о потерях Q_2 , Q_3 , Q_5 .

Потеря с уходящими газами Q_2 . Наибольшей потерей тепла в любом практически котле является потеря с выходящими из него дымовыми газами, имеющими на выходе из последней поверхности температуру $120 \div 170$ °С, а иногда и выше.

Повышение температуры дымовых газов на каждые $15 \div 20$ °С приводит к перерасходу топлива расходуемого котлом примерно на 1%. Тепло уходящих газов «вылетает в трубу» в прямом смысле этого слова.

У многих котлов большой производительности с уходящими газами теряется $5 \div 8\%$ всего тепла, содержащегося в поступающем в топку топливе.

Эта потеря возрастает при загрязнении поверхностей нагрева золой или сажей, так как при этом ухудшается передача воде, пару или воздуху.

Потеря тепла от химического недожога Q_3 .

Содержащийся в топливе углерод может соединяться с кислородом воздуха по разному.

Обычно он сгорает в углекислый газ CO_2 выделяя по 8 050 ккал тепла на каждый килограмм углерода.

При недостаточном количестве свободного кислорода образуется и другой газ – окись углерода или угарный газ CO .

Эту химическую реакцию называют неполным сгоранием, поскольку при ней на каждый килограмм сгоревшего углерода выделяется только 2 370 ккал. Окись углерода может догореть в углекислый газ, выделив при этом 5 680 ккал тепла на каждый 1 кг израсходованного на её образование углерода (С).

Кроме окиси углерода CO , в уходящих газах иногда содержится небольшое количество водорода H_2 , метана CH_4 и других газов, которые могли бы также выделить тепло, если бы они сгорели.

Вот это тепло, которое могло бы выделяться в топочной камере, если бы эти газообразные горючие догорели, представляет собой потерю от химического недожога Q_3 .

При сгорании жидкого и газообразного топлива эта потеря обычно не превышает 1% при организации соответствующего контроля за режимом горения топлива.

Потеря тепла в окружающую среду Q_5 .

Эта потеря заключается в том, что часть выделившегося в топке тепла теряется через обмуровку или изоляцию газозвдушного тракта и затрачивается на нагревание окружающего воздуха.

При приближенных расчетах эту потерю считают равной 1,3% для котлов производительностью 20 т/час; 0,7% для котлов 100 т/час; 0,4% для котлов порядка 400 т/час и 0,2% для однокорпусных котлов высокого давления производительностью 1 000 т/час.

Потеря зависит от производительности котла и состояния обмуровки топки и изоляции газозвдухопроводов.

Выше уже упоминалось об общем понятии коэффициента полезного действия, но следует помнить, что (КПД) может быть (брутто) и (нетто).

Коэффициентом полезного действия котла брутто ($\eta_{бр}$) называют число, показывающее, какая часть тепла, вводимого с топливом в котел, используется в нем для получения пар.

Чем более совершенна конструкция котла и чем больше качественно производится его ремонт и обслуживанием, тем меньший процент тепла расходуется бесполезно.

На рис. 5 показано, насколько различаются потери тепла и $\eta_{бр}$ у пылеугольного и мазутного котлов одной производительности.

Потери тепла и КПД брутто однокорпусных котлов сверхкритического давления производительностью 1 000 т/час, не оборудованных цельносварными трубными панелями

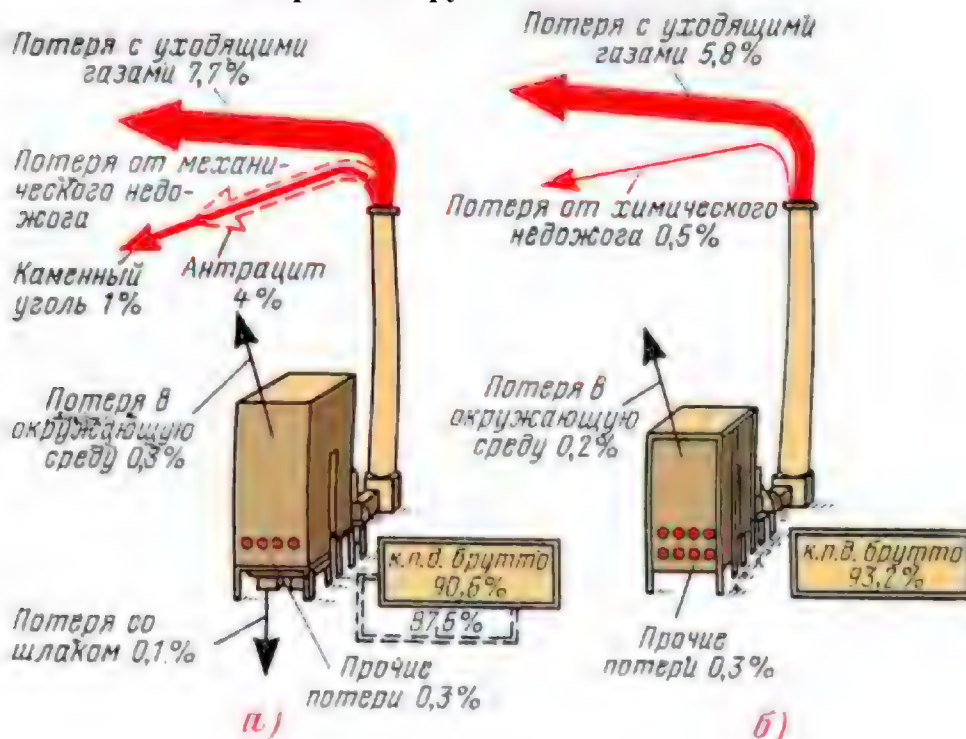


Рис. 5

а – при сжигании каменного угля (пунктиром – при сжигании антрацита); б – при сжигании мазута в газомазутном котле

При почти одинаковой температуре уходящих газов (около 140 °С) потеря тепла с этими газами оказывается более высокой в пылеугольном котле.

В значительной мере это связано с тем, что сжигание угля происходит при большем избытке воздуха.

Потеря тепла от механического недожога твердых топлив, различная для каменных углей и антрацита, также превышает потерю от химической неполноты сгорания мазута. Повышенная потеря тепла в окружающую среду пылеугольных котлов обусловлена большей наружной поверхностью их топки и газоходов.

И, наконец, у пылеугольных котлов приходится учитывать потерю тепла с выходящим из топки шлаком.

Кроме $\eta_{бр}$ на электростанциях определяют КПД ($\eta_{нетто}$) нетто, в котором, кроме упомянутых потерь, учитывается и тепло, затрачиваемое на выработку расходуемой в котельной электроэнергии.

$\eta_{нетто}$ котлов большой мощности примерно на 2÷4% меньше $\eta_{бр}$.

При сжигании мазута или газа основная часть этой электроэнергии расходуется на работу дутьевых вентиляторов и дымососов. При сжигании твердого топлива приходится, кроме того, затрачивать электроэнергию на его размол и на работу вентиляторов пылеприготовителей.

2.1.6. Продукты сгорания топлива

Объем продуктов сгорания. Для всех сжигаемых топлив известно процентное содержание в них углерода, водорода, серы. Зная это, можно сравнительно просто подсчитать теоретическое количество кислорода, необходимое для полного сгорания 1 кг или 1 м³ топлива, а также тепло, выделяемое при сгорании. На рис. 6 схематически показаны условия полного сгорания отдельных горючих элементов.

В воздухе находится 21% (по объему) кислорода, а остальные 79% объемы воздуха состоят из азота и незначительного количества других газов.

Следовательно подводя кислород, необходимый для сжигания 1 кг топлива, одновременно приходится подводить еще почти в 4 раза больше количества азота и иных газов, не участвующих в горении. Отсюда можно подсчитать требующееся для сжигания 1 кг или 1 м³ топлива теоретически необходимое количество воздуха.

Если сравнить одинаковое количество молекул различных газов, то при одинаковых давлении и температуре объемы этих газов также окажутся одинаковыми (Закон Авогадро). Каждая молекула кислорода при химическом соединении с углеродом топлива образует одну молекулу углекислого газа.

Поэтому объем израсходованного при горении кислорода и объем образовавшегося углекислого газа равны друг другу (при одинаковой температуре), хотя, конечно, по весу они различаются между собой (рис. 6, а).

То же происходит при сжигании серы (рис. 6, в).

При горении водорода объем образующегося в результате этой химической реакции водяного пара оказывается вдвое больше, чем объем израсходованного кислорода (рис. 6, б).

Схемы процесса горения отдельных элементов горючей массы топлива

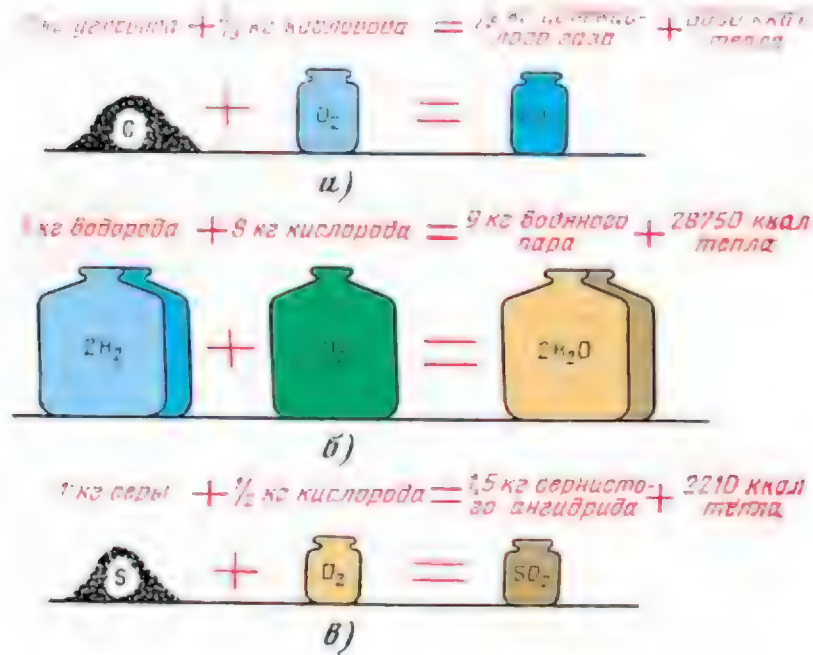


Рис. 6

а – углерода; б – водорода; в – серы.

Но в горючей массе большинства топлив содержится лишь небольшое количество водорода и происходящее при его сжигании увеличение объема дымовых газов незначительное. Даже у состоящего в основном из углеводорода природного газа объем продуктов сгорания лишь на 12÷13% превышает объем входящего в топку воздуха (при одинаковой температуре), а у мазута только на 8%.

Если сравнить несколько котлов, работающих с одинаковой тепловой нагрузкой на различных топливах, то количество вводимого в их топку воздуха будет у всех почти одинаковым. Увеличение объема дымовых газов по сравнению с объемом этого воздуха (при равной температуре) обуславливается при сжигании твердых топлив, прежде всего, испарением содержащейся в них влаги, а низкосортных газообразных топлив – наличием в них негорючих газов.

Так почти 70% доменного газа представляет собой азот и углекислый газ, из-за которых объем продуктов сгорания превышает объем воздуха примерно в 2 раза.

С повышением температуры объем воздуха или дымовых газов возрастает согласно закону Гей-Люссака.

Так, при 273 °С объем газа вдвое превышает его объем при 0 °С, при 546 °С – втрое превышает этот объем и т.д.

Коэффициент избытка воздуха. При подаче в топку воздуха и топлива всегда неизбежно либо не вполне равномерное поступление топлива, либо неполное перемешивание его с воздухом, из-за него отдельные воздушные отрезки проходят через топку, не участвуя в горении.

Воздух необходимо подавать в топку с некоторым избытком. Чем совершеннее конструкция топливоподающих механизмов и топочных устройств (горелок), а также чем легче воспламеняется топливо, тем меньше может быть избыток воздуха.

Коэффициентом избытка воздуха в топке называется число, показывающее, во сколько раз весовое количество действительно подаваемого в топку воздуха больше количества воздуха, теоретически необходимого для горения.

Для котлов большой производительностью коэффициент избытка воздуха в топке составляет при правильной их работе 1,2 для твердых топлив и $1,03 \div 1,05$ для мазута и горючих газов.

Коэффициент избытка воздуха нельзя поддерживать слишком большим.

Излишний для горения воздух проходит вместе с дымовыми газами через весь котел, создает дополнительную нагрузку дутьевым вентиляторам и дымососам и, уходя в дымовую трубу, уносит с собой часть тепла, выделяющегося при сжигании топлива.

Поэтому необходимо автоматически или вручную непрерывно регулировать подачу воздуха в топку с тем, чтобы не допускать слишком большого уменьшения или чрезмерного увеличения его количества.

Коэффициент избытка воздуха контролируют приборами (газоанализаторами) либо переносными, либо стационарно установленными на котлах, которые измеряют состав трехатомных газов

$$RO_2 = CO_2 + SO_2\%;$$

или содержание в газах свободного кислорода

$$\alpha = \frac{CO_2^{\max}}{CO_2}$$

где $CO_2^{\max}$ – максимальное значение CO_2 для выбранного вида топлива;
 CO_2 – расчетное (полученное в результате замера газоанализатором) значение CO_2 .

В общем случае коэффициент избытка воздуха это отношение фактического объема воздуха, участвующего в горении $V_{\phi} = V_e^0 + V_{изб}$ к теоретически необходимому

$$\alpha = \frac{V_e^0 + V_{изб}}{V_e^0}$$

Вопросы для самоконтроля:

1. Что такое энтальпия?
2. Основные параметры пара?
3. Первый Закон термодинамики?
4. Каким способом осуществляется теплообмен?
5. Что такое парообразование?
6. Что называется скрытой теплотой парообразования?
7. Какие виды топлива вы знаете?
8. Чем определяется качество топлива?
9. Понятие о топливном эквиваленте?
10. Тепловой баланс котла.
11. Тепловые потери, чем они определяются?
12. Коэффициент полезного действия брутто котла?
13. Коэффициент избытка воздуха?

**2.2. Устройство котельных установок****2.2.1. Технологические схемы котельных установок**

Для котельных установок применяют паровые и водогрейные котлы.

Паровой котел – устройство, обогреваемое продуктами сжигаемого в топке топлива и предназначенное для получения пара давлением выше атмосферного, который используется вне самого устройства.

Водогрейный котел – устройство, обогреваемое продуктами сжигаемого в топке топлива и предназначенное для нагревания воды, которая находится под давлением выше атмосферного и используется в качестве теплоносителя вне самого устройства.

Котельная установка – состоит из собственно котла, топочного устройства, пароперегревателя, водяного экономайзера, воздухоподогревателя, каркаса, обмуровки, арматуры, котельно-вспомогательного оборудования и трубопроводов. В некоторых конструкциях котельных установок малой мощности пароперегреватель, водяной экономайзер и воздухоподогреватель отсутствуют.

Котел - состоит из системы труб поверхностей нагрева, объединенных между собой барабанами и камерами. Собственно котел предназначен для получения насыщенного пара (у паровых котлов) и нагрева воды до заданной температуры (у водогрейных котлов).

Топочные устройства – это комплекс горелочных или механических устройств, предназначенный для превращения внутренней энергии топлива в тепловую энергию продуктов сгорания.

В пароперегревателе происходит перегрев насыщенного пара до заданной температуры за счет тепла продуктов сгорания.

В водяном экономайзере питательная вода нагревается за счет дополнительного использования тепла дымовых газов и направляется в собственно котел с температурой близкой к температуре насыщения.

Воздухоподогреватель предназначен для интенсификации и повышения устойчивости процесса сгорания топлива, а также дальнейшего использования тепла продуктов сгорания.

Каркас котла – металлическая конструкция, с помощью которой отдельные элементы котла объединяются в заданной компоновке.

Обмуровка котла предназначена для отделения топочной камеры от газоходов котла от окружающей среды.

Арматура (задвижки, вентили, клапаны и т.д.) служат для управления работой и обеспечения нормальных условий эксплуатации котла.

Гарнитурой называются устройства для обслуживания газоходов и токи котла (лазы, люки, гляделки, взрывные клапана и др.).

Котельно-вспомогательное оборудование предназначено для подачи в топку воздуха и отсоса продуктов сгорания топлива, приготовления и транспортирования топлива, очистки дымовых газов, удаления золы и шлака, водоподготовки и питания котла водой.

По трубопроводам котельных установок транспортируется пар, вода, мазут, химические реагенты и другие вещества.

2.2.2. Схемы котлов

2.2.2.1. Барабанные котлы

Во всех паровых котлах тепло выделяющееся при сжигании топлива, передается от продуктов сгорания (топочных и дымовых газов) воде и пару. Передача тепла осуществляется через поверхности нагрева, которые у современных котлов представляют собой или однорядные трубные панели (на стенах топки и газоходов либо внутри газового потока в виде так называемых ширм), или трубные пакеты (пучки), в которых дымовые газы проходят между расположенными в несколько рядов трубами. Вода и пар движутся внутри труб.

Концы труб поверхностей нагрева включены в сборные камеры (коллекторы), которые обычно представляют собой заглушенные по концам отрезки толстостенных труб внутренним диаметром 200÷350 мм.

По характеру движения воды все котлы можно разделить на три группы: котлы с естественной циркуляцией воды, котлы с принудительной циркуляцией воды и прямоточные (безбарабанные).

В котлах с естественной циркуляцией вода из барабана отпускается по не обогреваемым (опускным) трубам в нижние сборные коллекторы и затем вместе с образующимся паром поднимается самотеком по обогреваемым (подъемным) трубам опять в барабан (рис. 8).

В барабане вода отделяется от пара и снова направляется в водоотпускные трубы. Такое движение обусловлено различием между весом столба воды в опускных трубах и весом столба (трубных панелей) или как их называют экранов. Таким образом, у котлов с естественной циркуляцией вода самотеком многократно проходит через трубы (рис.7, а).

Схемы основных типов котлов докритического давления

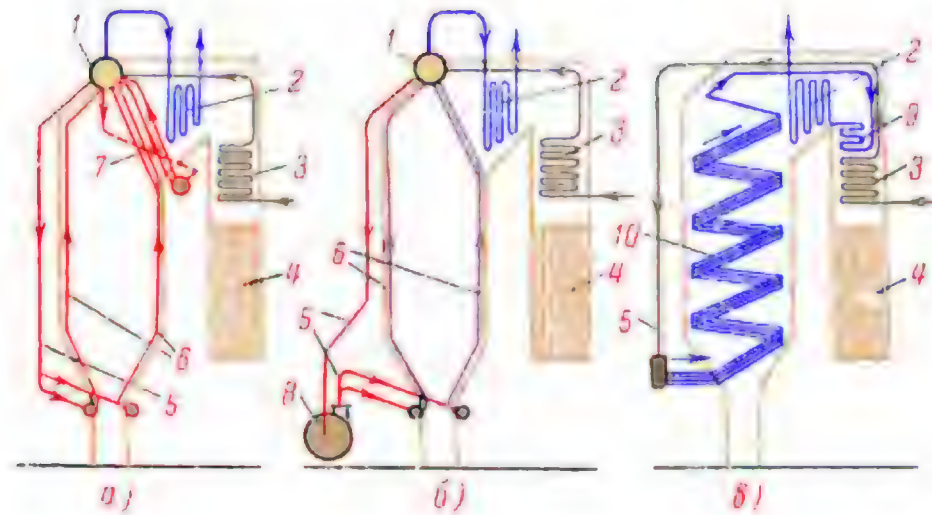


Рис. 7

а и *б* – соответственно котлы с естественной и принудительной циркуляцией воды; *в* – прямоточный котел Рамзина; 1 – барабан; 2 – пароперегреватель; 3 – экономайзер; 4 – трубчатый воздухоподогреватель; 5 – необогреваемые водоотпускные трубы; 6 – экранные испарительные трубы; 7 – конвективный трубный пакет (пучок); 8 – циркуляционный насос; 9 – переходная зона котла Рамзина; 10 – испарительные трубы (радиационная часть) котла Рамзина

Условия движения воды и пара в экране котла с естественной циркуляцией

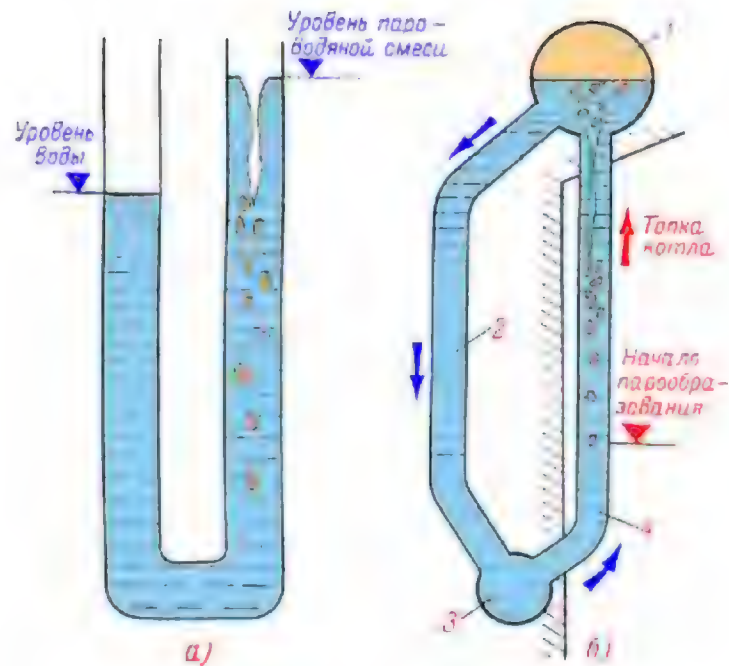


Рис. 8

а – изогнутая, открытая сверху труба, в одной половине которой испаряется вода (уровень пароводяной смеси находится выше уровня воды); *б* – циркуляционный контур экрана; 1 – барабан котла; 2 – водоотпускная труба; 3 – нижний коллектор экрана; 4 – обогреваемая труба

Котлы, в которых круговое движение воды по трубам (циркуляция воды) совершается посредством специального насоса (рис. 7, б), называется котлами с принудительной циркуляцией.

Основными поверхностями нагрева котлов с естественной и принудительной циркуляцией являются: экономайзер, в котором питательная вода нагревается до поступления в барабан, испарительные трубы и пароперегреватель. Кроме того, у всех современных котлоагрегатов имеется воздухоподогреватель, в котором нагревается необходимый для горения воздух.

У всех таких котлов одним из основных элементов является барабан – горизонтальный стальной цилиндр, имеющий у современных котлоагрегатов высокого давления внутренний диаметр свыше 1,5 м при толщине стенок $85 \div 115$ мм.

Изменение скорости циркуляции воды в отдельных экранных трубах двухбарабанного котла

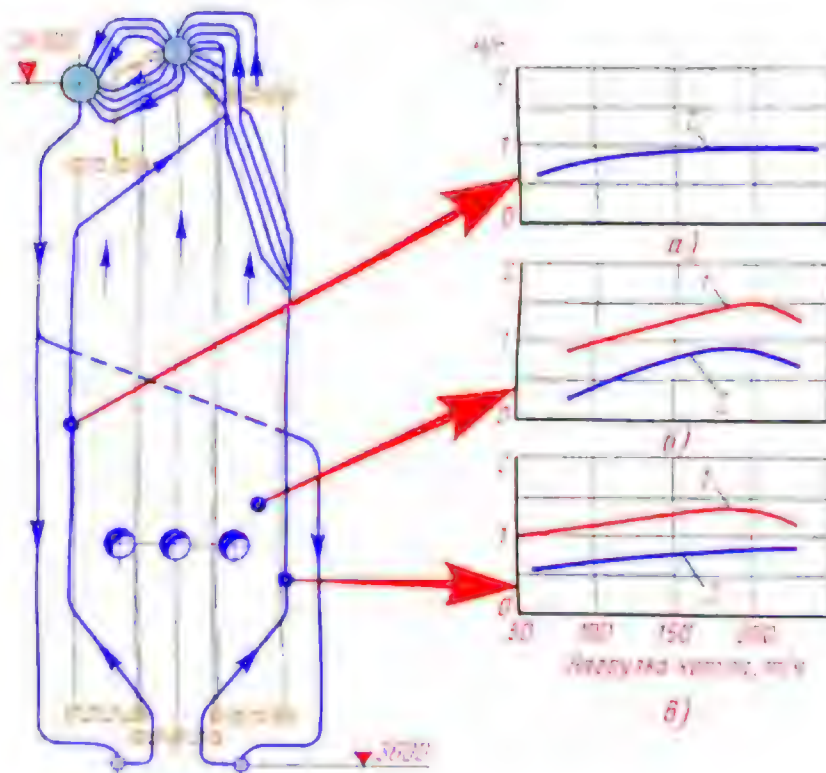


Рис 9

а – скорость циркуляции во фронтном экране; б – в задней секции левого бокового экрана; в – в заднем экране; 1 – в одной из средних труб по ширине топки; 2 – во второй трубе от угла топочной камеры

Котлы с естественной и принудительной циркуляцией воды часто называют барабанными.

На рис. 9 показана схема циркуляции воды в двухбарабанном котле. На старых электростанциях работают котлы с тремя и даже пятью барабанами, но в настоящее время такие котлы не изготавливают.

У однобарабанного котла нижняя часть барабана (примерно его половина) заполнена водой и уровень воды поддерживается неизменным. Пар из верхней части барабана направляется в пароперегреватель для дополнительного нагрева.

Работа топочной камеры. На рис. 10 схематически показаны два типа современных барабанных котлов с естественной циркуляцией воды. Сжигание топлива производится в топочной камере, куда топливо поступает через горелки. Твердое топливо перед сжиганием измельчают в тонкий порошок (угольную пыль).

Котлы, где эта пыль сжигается называют пылеугольными.

Упрощенный вид пылеугольных котлов большой производительности

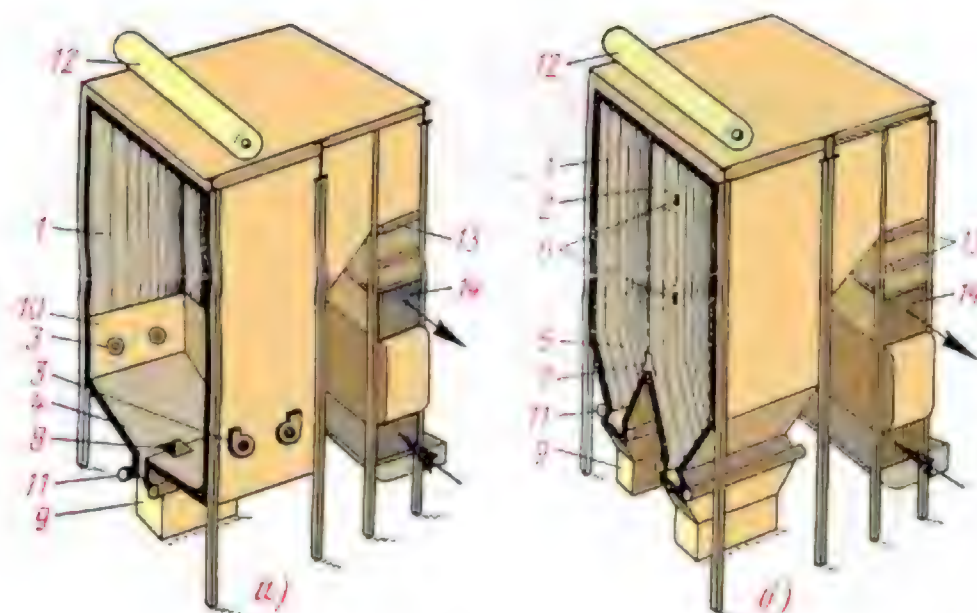


Рис. 10

а — котел с однокамерной топкой и жидким шлакоудалением; *б* — котел с двухкамерной топкой и сухим шлакоудалением; 1 — топочная камера; 2 — двухсветный экран; 3 — горелки (показаны только на схеме *а*); 4 — под; 5 — холодная воронка; 6 — отверстия для выравнивания давления газов по обе стороны двухсветного экрана; 7 — развилка в нижней части вертикального участка трубы двухсветного экрана; 7 — развилка в нижней части вертикального участка трубы двухсветного экрана (показана в увеличенном виде); 8 — летка; 9 — короб с водяной ванной для шлака; 10 — зажигательный пояс, способствующий повышению температуры топочных газов в зоне активного горения; 11 — нижние экранные коллекторы; 12 — барабан; 13 — камеры экономайзера; 14 — трубчатый воздухоподогреватель; стрелками показано направление входа и выхода из него воздуха

У котлов, рассчитанных на сжигание жидкого и газообразного топлива, топочная камера имеет значительно меньше размеры, чем у котлов для сжигания угля.

У всех крупных котлов топливо сгорает в виде факела, от которого тепло путем излучения передается трубам, расположенным в топочной камере в виде панелей.

Излучение тепла нагретым телом и, в частности, топочным факелом по своему характеру подобно световому излучению, хотя тепловые лучи невидимы для глаза.

Действие лучистого тепла на человека ясно ощущается, например, при открытии лаза или лючка (гляделки) в топку. Количество излучаемого тепла резко увеличивается с возрастанием температуры факела.

У котлов большой производительности трубными панелями покрываются обычно все стены, низ и потолок топочной камеры.

Не расположенные в топке панели, в которых происходит испарение воды, называют экранами.

У отдельных котлов производительностью более 400 т/час кроме настенных экранов имеется двухсветный экран, разделяющий топку на две части и обогреваемый факелом с обеих сторон (рис. 10, б).

Нижняя часть топочной камеры газомазутных и многих пылеугольных котлов образует под, состоящий из мало наклоненных от горизонтали трубных панелей.

У пылеугольных котлов на поде оседает в расплавленном виде содержащаяся в топке зола (так называемый шлак).

Жидкий шлак вытекает из топки через летку и сливается в короб с водяной ванной, где охлаждается затвердевает, после чего в виде мелких частиц (гранул) удаляется из котельной. Такой шлак называют гранулированным (рис. 10, а).

В других конструкциях топочной камеры применяется сухое шлакоудаление. Раскаленные частицы шлака на пути в водяную ванну пролетают через холодную воронку (рис. 10, б).

Преимуществом жидкого шлакоудаления является более полное выгорание угля, чем обеспечивается повышением экономичности работы электростанции. Но при жидком шлакоудалении затрудняются условия работы котла с низкой нагрузкой, при которой находящийся на поде шлак затвердевает и перестает удаляться из топки.

Пар, образующийся в экранных трубах, отводится либо непосредственно в барабан котла, либо в верхние сборные камеры (коллекторы), откуда направляется в барабан по отводящим трубам. Вода в нижние коллекторы, как было уже сказано, подается по наружным необогреваемым водоопускным трубам (рис. 7, а).

В котлах старых конструкций среднего давления часть воды испаряется в кипяtilьных трубных пакетах, которые омываются вышедшими из топки дымовыми газами. Одна из конструкций такого пакета (трубного пучка) видна на рис. 7, а.

Пароперегреватель. Из барабана в пароперегреватель направляется насыщенный пар, имеющий температуру кипящей воды. Нагрев этого пара совершается в первичном пароперегревателе; пароперегреватель, в котором на-

гревается пар, возвращаемый из турбины для повторного нагрева, называется промежуточным пароперегревателем.

В современном пароперегревателе различают три части: конвективную радиационную и полурadiационную (ширмы).

Конвективная часть состоит из трубных пакетов, каждый из которых собирается из змеевиков, то есть многократно согнутых труб. Такие пакеты омываются вышедшими из топки дымовыми газами, в них основное количество тепла передается при соприкосновении труб с газами (конвекцией).

У многих котлов на стенах топочной камеры установлены радиационные панели пароперегревателя (рис. 11). Они воспринимают тепло, излучаемое газами (радиационное тепло).

Примерная схема движения первичного пара в котле с естественной циркуляцией

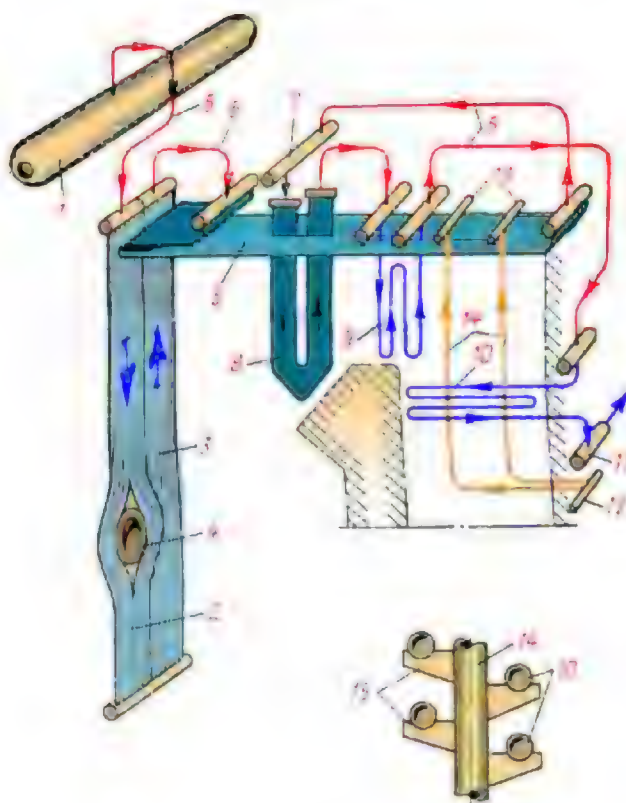


Рис. 11

1 – барабан; 2 – опускные трубы радиационной панели пароперегревателя; 3 – подъемные трубы панели; 4 – проем для горелки; 5 – потолочная панель; 6 – необогреваемые перепускные трубы; 7 – пароохладитель; 8 – полурadiационный пароперегреватель; 9 и 10 – змеевики вертикального и горизонтального пакетов пароперегревателя; 11 – камера перегретого пара; 12 и 13 – выходная камера подвесных труб; 14 – подвесные трубы; 15 – опора для горизонтальной трубы 10

Почти у всех современных котлов имеются ширмы, каждая из которых представляет собой расположенную в одной вертикальной плоскости панель

из U-образных труб, жестко скрепленных между собой и находящихся почти вплотную друг к другу.

Пар входит в одну из камер ширмы, проходит по трубам и выходит из другой камеры.

Обычно ширмы расположены в зоне выхода дымовых газов из топки. Расстояние между соседними ширмами составляет $0,5 \div 1$ м.

Другие элементы котла. У большинства котлов водяной экономайзер размещают в вертикальном газоходе.

По ходу дымовых газов он находится за пароперегревателем. Вода входит в нижние концы труб и выходит из их верхних концов. Экономайзер служит для подогрева воды поступающей в котел.

Допускается и частичное ее испарение: паровые пузыри проходят вдоль труб и отводятся в барабан. Такой экономайзер называется экономайзером кипящего типа.

Пароперегреватель и экономайзер выполняют обычно из труб наружным диаметром $28 \div 42$ мм.

У всех котлов (кроме самых малых) последней поверхностью нагрева по ходу дымовых газов является воздухоподогреватель (или, как показано на рис. 12, а его нижняя часть).

Благодаря предварительному подогреву в воздухоподогревателе вводимого в топку воздуха улучшаются условия сжигания топлива и повышается экономичность котлоагрегата.

Стены и потолок топки и газоходов котла покрыты обмуровкой, которая препятствует утечке тепла наружу, а также присосу в котел окружающего атмосферного воздуха.

В современном котле большой мощности его поверхностей нагрева укреплены на каркасе, представляющем собой прочную металлическую, опирающуюся на фундамент.

2.2.2.2. Прямоточные котлы

Прямоточный котел состоит из системы труб, в которых отсутствует возвратное движение воды (циркуляция).

У обычного котла «прямоточными» являются экономайзер и пароперегреватель, через трубы которых вода и пар проходят только один раз. В прямоточном котле такой характер имеет движение во всех поверхностях нагрева. У таких котлов нет барабана.

Широкое распространение прямоточных котлов началось после большой исследовательской и конструкторской работы, проведенной в нашей стране под руководством профессора Л.К. Рамзина, именем которого был назван разработанный им тип прямоточных котлов докритического давления.

Масштабы внедрения прямоточных котлов возросли при переходе к сверхкритическому давлению, при котором не могут применяться котлы с естественной циркуляцией.

В котле Рамзина вода из экономайзера обычной конструкции направляется по необогреваемым трубам в нижний коллектор, к которому присоединены трубы.

Отдельные схемы расположения нагрева в котлах

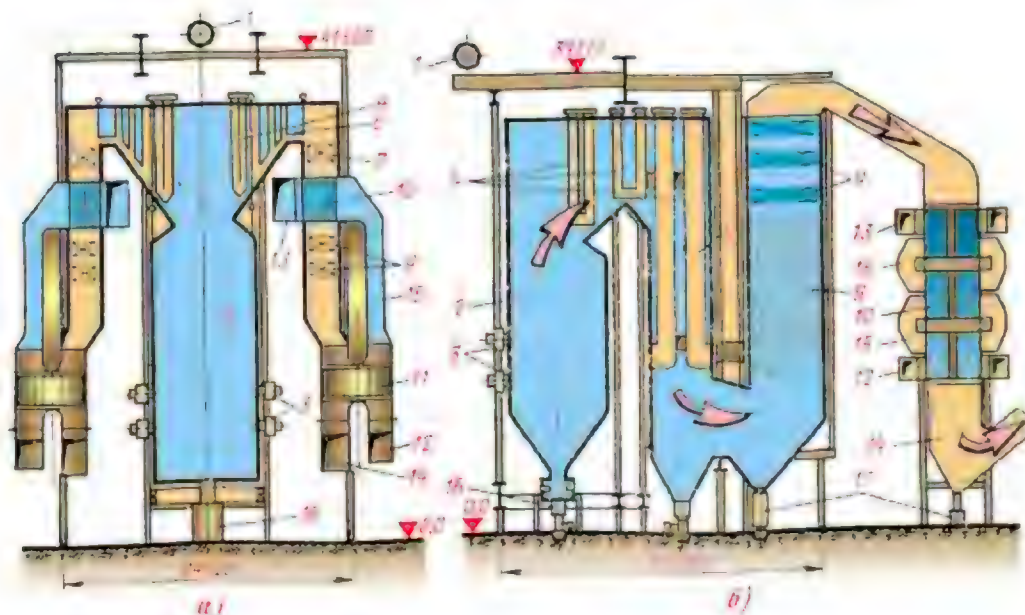


Рис. 12

a – разрез (плоскость разреза по длине здания котельного цеха) Т-образного котла ТП-100 производительностью 670 т/ч для сжигания антрацита; *б* – продольный разрез N-образного котла ТП-67 для сжигания сланцев; 1 – барабан; 2 – топка; 3 – горелка; 4 – ширмы первичного пароперегревателя; 5 – ширмы промежуточного пароперегревателя; 6 – конвективная часть первичного пароперегревателя; 7 – конвективный промежуточный пароперегреватель; 8 – ширмы экономайзера; 9 – конвективный экономайзер; 10 и 11 – трубчатый и регенеративный воздухоподогреватели; 12 и 13 – вход и выход воздуха их воздухоподогревателя; 14 – выход дымовых газов из котла; 15 – промежуточный воздухопровод; 16 – аппарат гидравлического шлакоудаления; 17 – аппарат для удаления летучей золы

Длинной панели, покрывающей все стены топочной камеры (рис. 13). На схеме эти трубы изображены раздельно только у нижнего и верхнего коллекторов; направление движения воды условно показано одной линией.

Экраны прямоточных котлов называют их радиационной частью. Ее конструкция у котлов Рамзина имеет ряд преимуществ, однако у котлов большой производительности оказывается затруднительным ее транспортировка и монтаж, из-за чего для котлов сверхкритического давления применяют другие конструкции радиационной части.

У больших котлов она разделяется по высоте топки на нижнюю радиационную часть (НРЧ), верхнюю, а иногда и среднюю радиационные части (ВРЧ и СРЧ).

Из радиационной части котлов Рамзина выходит пароводяная смесь с небольшим содержанием воды.

Упрощенная пароводяная схема прямооточного котла Рамзина

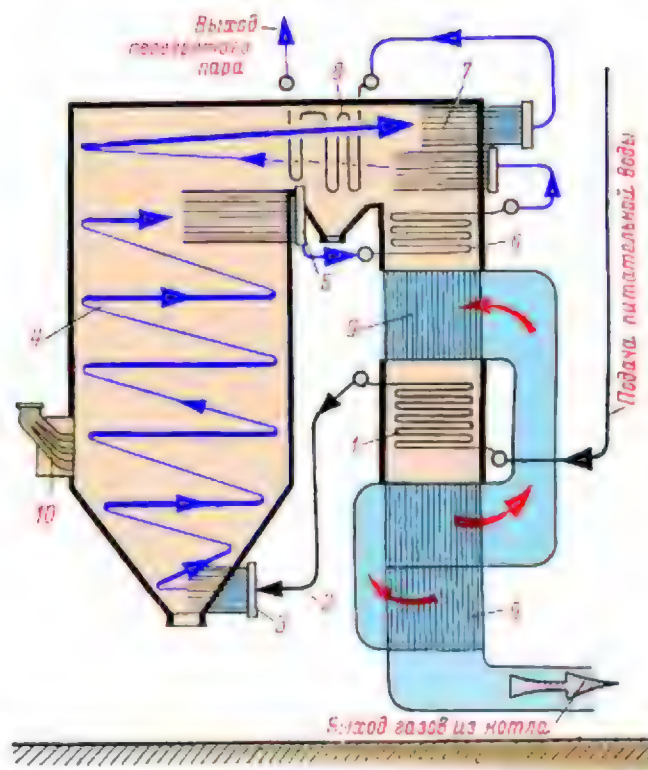


Рис. 13

1 – экономайзер; 2 – перепускные необогреваемые трубы; 3 – нижняя экранная камера; 4 – экранные трубы; 5 – верхняя экранная камера; 6 – переходная зона; 7 – настенная часть пароперегревателя; 8 – конвективная часть пароперегревателя; 9 – воздухоподогреватель; 10 – горелки

Эту смесь направляют в переходную зону, в которой завершается испарение воды и выпадает в виде накипи небольшое количество содержащихся в воде солей.

Переходную зону размещают по ходу дымовых газов после пароперегревателя, где обогрев труб сравнительно невелик и наличие небольшого слоя накипи менее опасно.

Переходная зона весьма полезна у котлов Рамзина, но многие котлы работают без нее.

В энергоблоках сверхкритического давления производится более тщательная очистка питательной воды (рис. 14).

Кроме того, с возрастанием плотности пара (уменьшением его удельного объема) увеличивается растворимость в нем различных солей и эти соли не оседают в переходной зоне, а уносятся паром в турбину.

Максимально допустимое содержание отдельных веществ в питательной воде котлов большой производительности

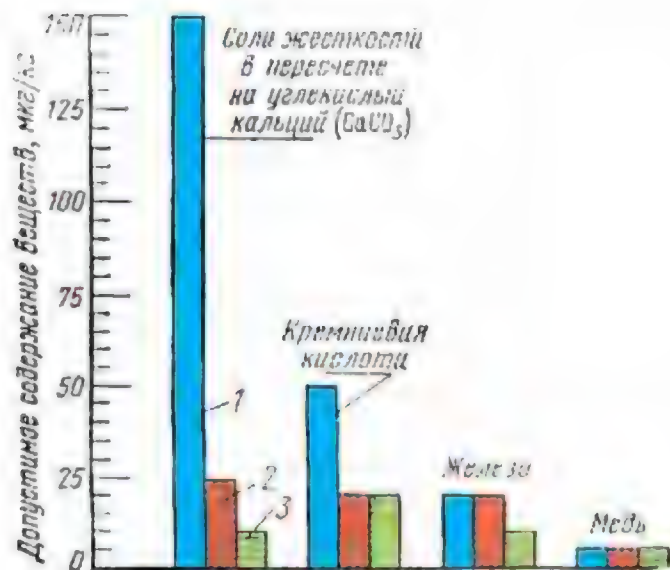


Рис. 14

1 – в котлах с естественной циркуляцией на 140 кгс/см²; 2 – в прямоточных котлах на 140 кгс/см²; 3 – в котлах сверхкритического давления

Прямоточные котлы требуют более квалифицированного обслуживания, чем котлы с естественной циркуляцией воды. Это объясняется следующими особенностями их:

- в барабанных котлах испарительные поверхности нагрева отделены от пароперегревателя барабаном, благодаря чему поверхность нагрева пароперегревателя не изменяется при колебаниях нагрузки котла;
- у прямоточного котла зона окончания испарения воды может перемещаться по длине труб, при этом соответственно изменяется поверхность нагрева, в которой происходит перегрев пара, и температура легко может возрасти или понизиться до недопустимого значения;
- для надежной эксплуатации прямоточного котла необходима бесперебойная и четкая работа автоматических регуляторов;
- питательная вода прямоточного котла должна содержать меньше солей и взвешенных веществ, чем при питании котлов с естественной циркуляцией;
- допустимое солесодержание уменьшается с повышением давления;
- как видно на рис. 14 максимально допустимое содержание веществ в питательной воде котлов обоих типов настолько мало, что измеряется миллионными долями грамма;
- но и при таком качестве питательной воды происходит постепенное отложение веществ в трубах прямоточных котлов и их приходится периодически подвергать водным и кислотным промывкам.

2.2.2.3. Водогрейные котлы

Водогрейные котла предназначены для непосредственного подогрева воды, циркулирующей в тепловых сетях в качестве теплоносителя. Такие котлы работают на газе, мазуте и твердом топливе.

У водогрейных котлов в отличие от паровых барабанных отсутствуют барабаны (наиболее дорогие и сложные элементы котла), паросепарирующие устройства, водоопускные и паровые трубы.

Кроме того, теплопередача от продуктов сгорания топлива к рабочему телу в водогрейных котлах увеличивается, повышая тем самым эффективность использования поверхностей нагрева котла.

Водогрейный котел ПТВМ-50



Рис. 15

- 1 – газомазутная горелка; 2 – правый боковой экран; 3 – воздушный канал; 4 – вентилятор; 5 – нижняя водораспределительная камера; 6 – сборная камера; 7 – поверхности нагрева; 8 – нижняя камера бокового экрана; 9 – перепускные трубы; 10 – фронтальный экран; 11 – верхняя камера фронтального экрана; 12 – левый боковой экран; 13 – каркас котла; 14 – верхняя камера конвекционного блока; 15 – опорная балка; 16 – дымовая труба; 17 – труба для обмывки; 18 – конвективный пучок; 19 – задний экран

Эти преимущества позволяют упростить конструкцию водогрейных котлов, уменьшить габариты и металлоемкость на единицу теплопроизводительности.

На рис. 15 показан водогрейный котел ПТВМ-50. Сетевую воду насосы прокачивают через экранные и конвективные поверхности нагрева котла, при этом она нагревается до заданной температуры.

2.2.2.4. Схемы размещения поверхностей нагрева в котле

Взаимное расположение оборудования и узлов котлоагрегата называется компоновкой котлоагрегата.

Почти все, рассмотренные нами котлы, имеют вид схожий с огромной буквой П, в одной вертикальной части которой расположены топка, а в другой – конвективные поверхности нагрева. В верхнем, почти горизонтальном газоходе размещают пароперегреватель или его часть.

Воздухоподогреватель вписывается в П-образную схему или размещается отдельно, как на рис. 16.

Установка газомазутного котла ТГМ-84

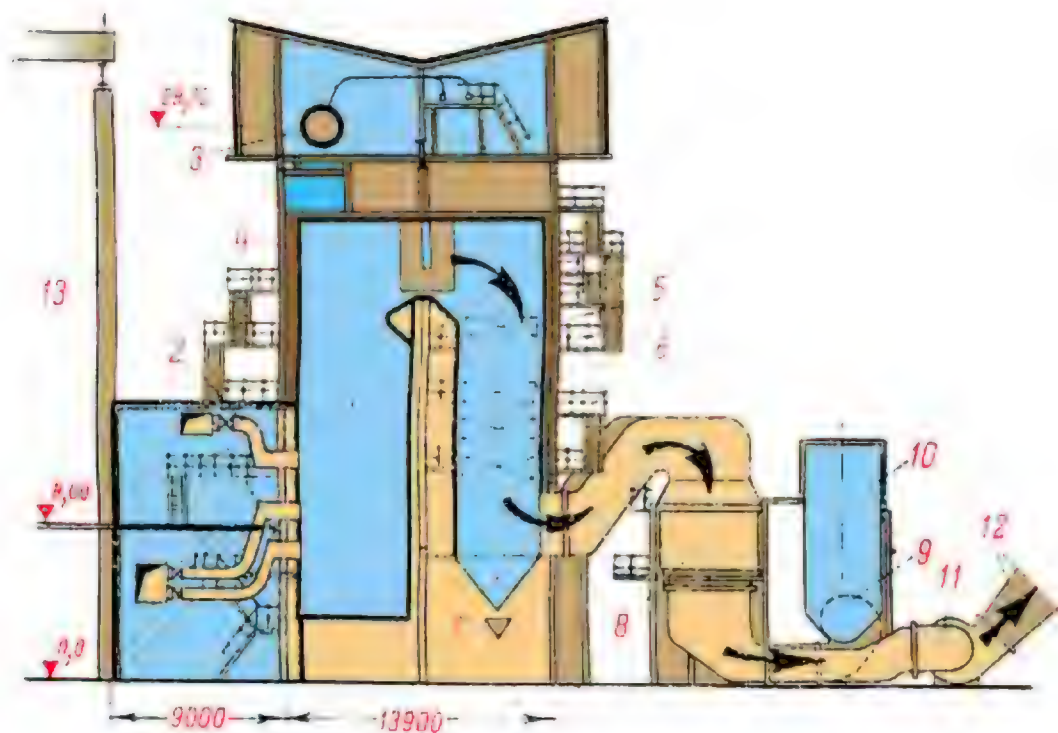


Рис. 16

1 – топка; 2 – горелка; 3 – барабан; 4 – ширма; 5 – конвективная часть пароперегревателя; 6 – экономайзер; 7 – бункер; 8 – регенеративный вращающийся воздухоподогреватель; 9 – дутьевой вентилятор; 10 – всасывающий короб дутьевого вентилятора; 11 – дымосос; 12 – короб, отводящий газы в дымовую трубу; 13 – стена машинного зала электростанции

Воздух в таких котлах входит в нижнюю часть топочной камеры. Продукты сгорания топлива движутся в топке вверх, а в конвективных газоходах – вниз.

Различные поверхности нагрева размещают в газоходах в такой последовательности, чтобы омывающие их дымовые газы имели значительно более высокую температуру, нежели вода и пар внутри обогреваемых труб. При малой разности температур передача тепла происходит настолько медленно, что для требуемого нагрева воды, пара или воздуха приходится устанавливать излишние громоздкие элементы котла.

Наиболее трудно размещать поверхности нагрева в котлах с двукратным перегревом пара и при высокой температуре питательной воды.

Меньше всего перепад температур в экономайзере и воздухоподогревателе (рис. 17).

Разность между температурой дымовых газов и температурой воды и пара в различных поверхностях нагрева котла сверхкритического давления ТПП-210А при работе с полной нагрузкой

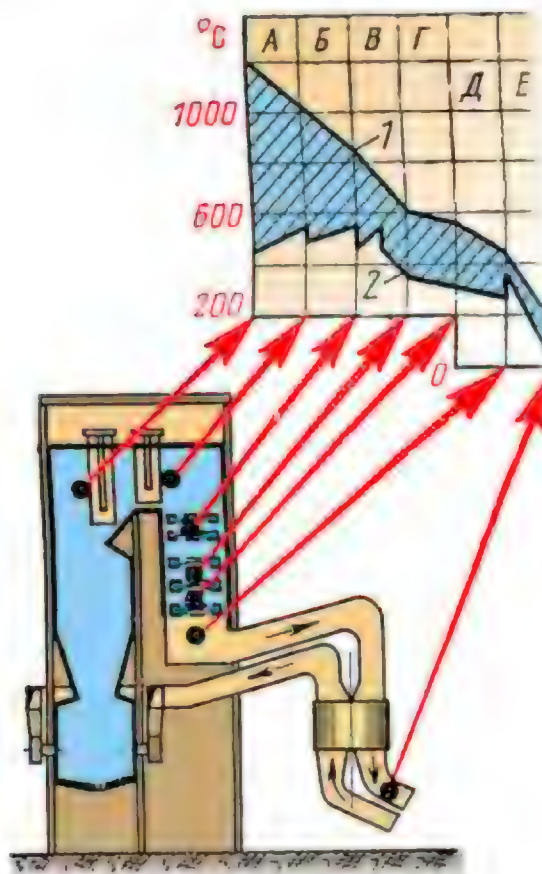


Рис. 17

1 – температура дымовых газов; 2 – температура воды, пара и воздуха; А – ширмы; Б – конвекционная часть первичного пароперегревателя; В – промежуточный пароперегреватель; Г – газопаровой теплообменник (см. рис. 11-9, а); Д – экономайзер; Е – воздухоподогреватель

П-образные котлы и близкие к ним Г-образные (в которых, как видно на рис. 17 опускающей газоход имеет значительно меньшую высоту, чем топочная камера) оказались весьма удобными для установки на электростанциях и получили наибольшее распространение.

Но существуют и котлы, изготовленные по другим схемам.

На рис. 18а изображен Т-образный котел с тонкой, расположенной между двумя симметричными опускающими газоходами. Несмотря на более сложную конфигурацию таких котлов, металл на их изготовление расходуется примерно в таком же количестве, как для П-образных котлов той же производительности. Их газоходы имеют меньшее сечение и в них легче можно производить ремонтные работы.

Отдельные схемы расположения поверхностей нагрева в котлах

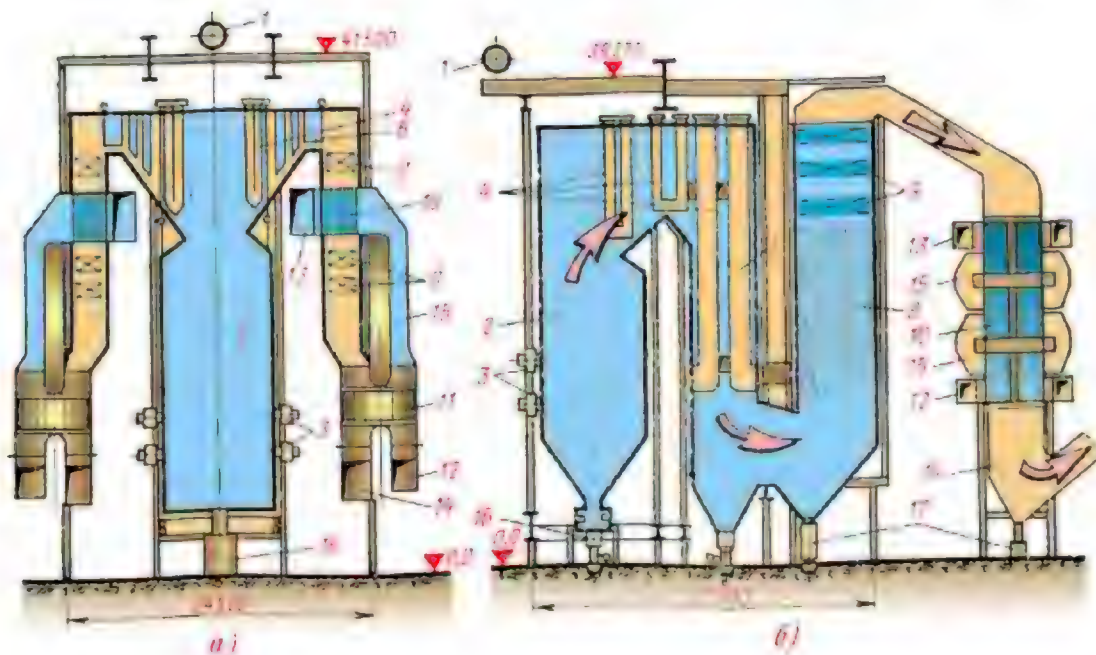


Рис. 18

а – разрез (плоскость разреза по длине здания котельного цеха) Т-образного котла ТП-100 производительностью 670 т/ч для сжигания антрацита; *б* – продольный разрез N-образного котла ТП-67 для сжигания сланцев; 1 – барабан; 2 – топка; 3 – горелка; 4 – ширмы первичного пароперегревателя; 5 – ширмы промежуточного пароперегревателя; 6 – конвективная часть первичного пароперегревателя; 7 – конвективный промежуточный пароперегреватель; 8 – ширмы экономайзера; 9 – конвективный экономайзер; 10 и 11 – трубчатый и регенеративный воздухоподогреватели; 12 и 13 – вход и выход воздуха из воздухоподогревателя; 14 – выход дымовых газов из котла; 15 – промежуточный воздухопровод; 16 – аппарат гидравлического шлакоудаления; 17 – аппарат для удаления летучей золы

Недостаток Т-образных котлов, в основном, в том, что они занимают больше места по длине котельного цеха, из-за чего приходится удлинять все здание электростанции. На рис. 18, *б* показан N-образный котел, устанавливаемый для сжигания сланцев и других топлив с очень легкоплавкой золой. В котлах обычной конструкции происходило бы налипание этой золы в трубных пакетах, поэтому весь пароперегреватель изготавливают в виде вертикальных

ширм, расположенных на 0,5 м друг от друга, вследствие чего несущиеся с газами частицы золы не могут налипать на трубы в большом количестве.

При редком расположении поверхностей нагрева становится необходимым дополнительный третий газоход.

2.2.3. Топки для сжигания жидкого и газообразного топлива

2.2.3.1. Сжигание мазута

В настоящее время все большее распространение в Российской энергетике получают газомазутные котлы, приспособление для работы только на жидком и газообразном топливах. Кроме того, мазут и природный газ сжигают в большом количестве и в пылеугольных котлах старых конструкций (пример Новокуйбышевская ТЭЦ-1). На газомазутных электростанциях (котельных, промышленных, отопительно-производственных, районных и т.д.) нет ни пылеприготовительного оборудования, ни золоуловителей.

У газомазутных котлов меньшие размеры, благодаря чему сокращается стоимость их самих, так и здания котельного цеха. Упрощается по сравнению с пылеугольными агрегатами обслуживание оборудования котельного цеха (котельной). И, что важнее всего, уменьшается стоимость произведенной электроэнергии.

Себестоимость добычи природного газа примерно в 12 раз, а нефти – в 4 раза меньше, чем себестоимость подземной (шахтной) добычи угля.

А если теплоэлектростанции ведомственные и работают на своем топливе по себестоимости для внутреннего потребления то эта разница увеличивается еще в несколько раз.

Мазутопроводы. При обычной температуре мазут имеет настолько большую вязкость, что не может свободно течь по трубам. В котельную мазут поступает подогретым до температуры, зависящей от его марки (обычно это 115÷135 °С). Для предотвращения его застывания предусматривается его циркуляция в трубах вдоль котельной с возвращением в помещение мазутонасосной.

При периодическом потреблении мазута (например в пылеугольных котлах или когда мазут является резервным топливом на газомазутном котле) предусматривают его циркуляцию не только вдоль котельной, но и вокруг топки каждого котла. Короткие участки мазута в пределах горелки продуваются паром.

В топку котла мазут поступает под давлением через форсунки, которые устанавливают обычно в центральной части пылеугольных или газомазутных горелок.

Горелки и форсунки. Принцип действия всех мазутных форсунок одинаков. Выходя из них, жидкое топливо разбрызгивается на мельчайшие капли, которые разлетаются в глубину топочной камеры (топочного объема). Отсутствие в разбрызгиваемом мазуте крупных капель является непременным условием его экономического сжигания.

Применяют форсунки трех типов: с паровым, механическим и паромеханическим распылением.

Форсунки с паровым распылением, как правило, устанавливают только как растопочные. Для длительной работы они нецелесообразны, так как непрерывный расход большого количества пара ухудшает экономичность эксплуатации котельного агрегата.

Распространены форсунки с механическим распылением, форсунки ЦКТИ; на электростанциях применяются и другие их конструкции, например паромеханические форсунки изготавливаемые Чебоксарским заводом «Энергозапчасти», выполненные из металлокерамики и имеющие большой ресурс работы.

Во всех этих форсунках распыляемое топливо проходит через завихритель, в котором его струе сообщается вихревое движение, а затем с большой скоростью выходит через небольшое отверстие (сопло) в топочную камеру (рис. 19). Для хорошего распыления необходимо, чтобы мазут поступал в форсунки с достаточно большим давлением (для большинства конструкций $20 \div 25$ кгс/см²).

Мазутная паромеханическая форсунка ТКЗ-4

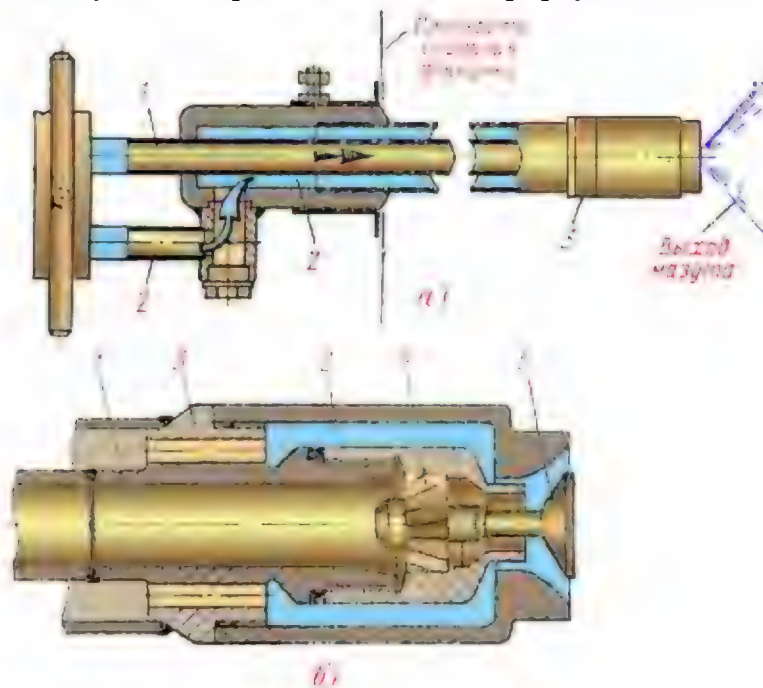


Рис. 19

а – схема; *б* – продольный разрез наконечника; 1 – подача мазута; 2 – подача пара или воздуха по кольцевому каналу; 3 – корпус наконечника; 4 – завихритель; 5 – рассекатель

Жидкие и газообразные топлива могут настолько легко воспламеняться, что для их сжигания не требуется не только высокого подогрева воздуха, но и разделения его на первичный и вторичный.

Воздух подается обычно в топку в виде вихревого потока. Разрежение в центральной части вихря обеспечивает возврат к горелке газов из центральной части топки, чем облегчается воспламенение топлива.

Как и в пылеугольных горелках, воздух завихряется либо в улиточном коробе, либо регистрах.

У горелок большой производительности воздух подается через два концентрических кольцевых канала (рис. 20).

Так устроена горелка ГМ-15 которой снабжены котлы Е-60-40-440 ГМ-2 установленные на ТЭС Новокуйбышевского НПЗ.

**Газомазутная горелка производительностью 4 т/ч по мазуту
и 7 800 м³/ч по природному газу**

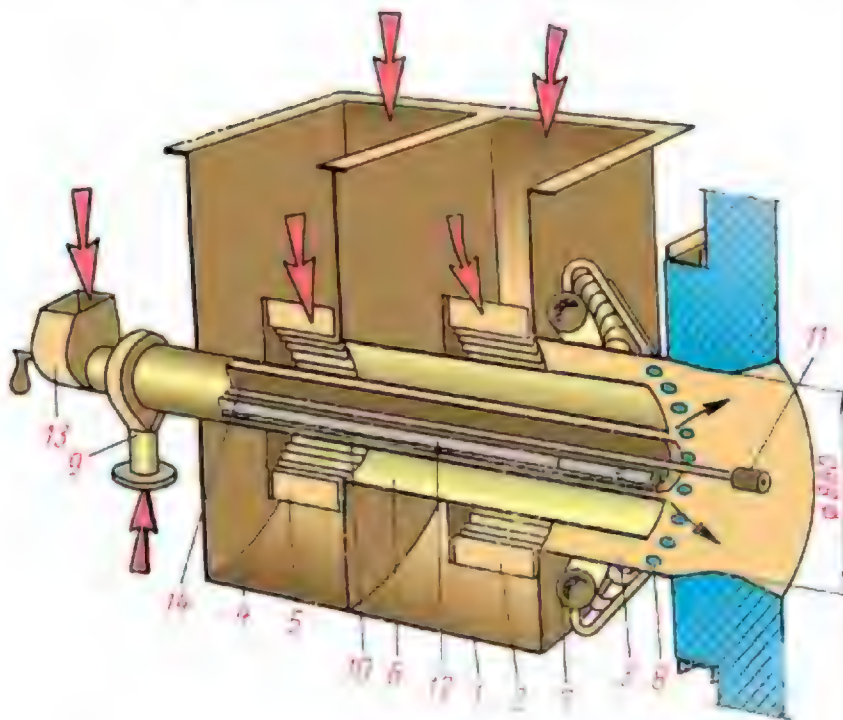


Рис. 20

1, 2 и 3 – соответственно короб, завихрывающий лопатки (регистр) и выходной кольцевой канал для периферийного воздуха; 4, 5 и 6 – те же элементы для внутреннего потока воздуха; 7 – кольцевой коллектор природного газа; 8 – отверстия для периферийной подачи природного газа (расчетная скорость выхода газа из отверстия 134 м/с); 9 и 10 – соответственно входная труба и кольцевой канал для центральной подачи природного газа (расчетная скорость выхода газа из отверстий – 177 м/с); 11 – мазутная форсунка; 12 – газовый электрозатпальник; 13 и 14 – соответственно входной короб и центральная труба для подачи воздуха к мазутной форсунке

Сжигание мазута. При правильной работе горелок мазут сгорает в топочном объеме полностью даже при минимальном избытке воздуха (коэффициенте избытка воздуха $1,02 \div 1,04$). Недожег возникает обычно вследствие неравномерного распределения топлива и воздуха между горелками, из-за чего через отдельные горелки подается меньше воздуха, чем требуется для горе-

ния, а также при неудовлетворительном завихрении воздуха, плохом распылении мазута и пр.

Равномерная раздача по горелкам топлива и воздуха затрудняется прежде всего из-за того, что их расход измеряют обычно с большой погрешностью.

Ещё большие затруднения возникают при работе котла с пониженной нагрузкой, когда для сохранения расчетной скорости воздуха в действующих горелках приходится отключать часть горелок и подавать в них немного воздуха во избежание их обгорания.

Возможность бесперебойной работы с низкой нагрузкой является одним из основных преимуществ двухтопочных горелок, у которых можно сохранить высокую скорость воздуха во внутреннем из двух концентрических воздушных каналов. При неполном сгорании мазута частицы сажи оседают на поверхности нагрева, ухудшая передачу тепла.

По мере возрастания толщины слоя сажи увеличивается температура уходящих газов и соответственно снижается экономичность работы котла.

Сажу вымывают при остановках котла струей воды, в которую добавляют щелочи для того, чтобы избежать образования серной кислоты (при соединении воды с находящимися в саже окислами серы) и разъедания металла этой кислотой. Воду с сажой удаляют через бункер под поверхностями нагрева.

Опаснее всего отложение сажи в воздухоподогревателе. При сжигании сернистого мазута может возникнуть быстрая коррозия его труб. Ещё более опасно воспламенение сажи, возникающее в том случае, когда после длительной работы с недостатком воздуха увеличивают его избыток.

Тлеющая сажа при омывании воздухом загорается, что может и приводило к полному выходу из строя воздухоподогревателя и длительной остановке котла.

Газовый электрозапальник. Управление котлом намного упрощается, если производится не вручную, а с помощью различных механизмов и устройств.

В частности, начальное воспламенение подаваемого в каждую горелку топлива можно осуществлять со щита управления, с помощью газового электрозапальника.

Газовоздушная смесь воспламеняется от электрической искры, создаваемой обычной автомобильной запальной свечой.

Подача газ в запальник и включение запальной свечи производится устройством, включаемым со щита управления котлом.

То же устройство одновременно с включением запальника обеспечивает автоматическое открытие клапанов для подачи в горелку жидкого или газообразного топлива. Если топливо не воспламенилось (например при повышенной влажности мазута или плохом распылителе), особое устройство автоматически включает запальник.

2.2.3.2. Сжигание газообразных топлив

На рис. 4 видно, насколько различаются состав и теплота сгорания различных горючих газов. Различны должны быть и горелки для их сжигания.

Горелки природного и нефтяного газа.

Объем природного и нефтяного газа примерно в 12÷15 раз меньше объема необходимого для их сгорания воздуха.

Для эффективного перемешивания с воздухом газ должен выходить в топку со значительно большей скоростью, чем воздух и разделенным на отдельные тонкие струи.

Его дробление на тонкие струи осуществляется во всех конструкциях горелок для природного и нефтяного газов.

Как правило, газообразное топливо вводится в воздушный поток со скоростью превышающей природный и нефтяной газ вводят в топку через газомазутные горелки.

Газ выходит из труб направленных вдоль оси горелки (рис. 21); или из небольших отверстий, расположенных вблизи выхода воздуха в топочную камеру (рис. 20).

Различают периферийную (с внешней стороны воздушного потока) и центральную подачу газа.

В крупных газомазутных котлах предусматривают иногда оба способа подачи газа – центральную подачу сравнительно небольшого его количества в период растопки и периферийную подачу при работе котла с высокой нагрузкой.

Схема двухулиточной вихревой горелки

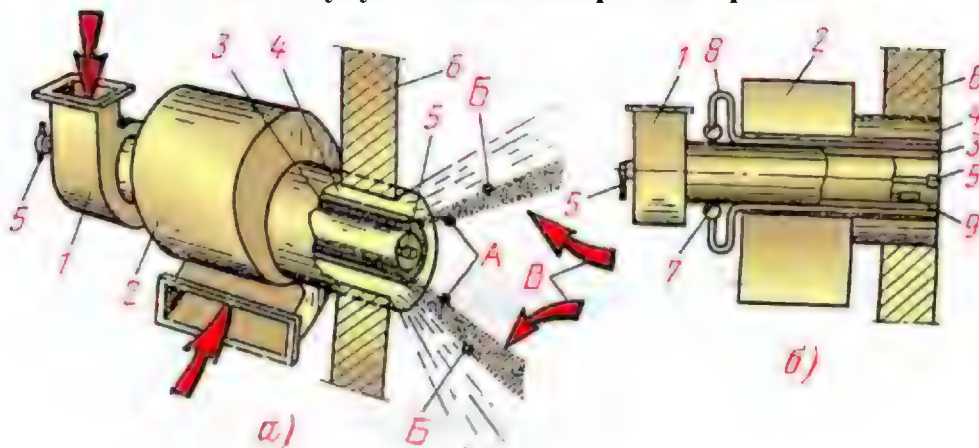


Рис. 21

а – вид сбоку пылеугольной горелки; б – продольный разрез пылегазовой горелки; 1 – улитка пылевоздушной смеси; 2 – улитка вторичного воздуха; 3 – кольцевой канала для выхода в топку пылевоздушной смеси; 4 – кольцевой канал вторичного воздуха; 5 – мазутная форсунка; 6 – обмуровка; 7 – кольцевой коллектор природного газа; 8 – одна из труб природного газа, расположенных вокруг канала 3; 9 – наконечник газового электрозапальника; А и Б – соответственно зоны начала и окончания воспламенения топлива в топочной камере; В – направление движения топочных газов

Не рекомендуется совместное сжигание газа и мазута на одной горелке поскольку газ воспламеняется первым и горение мазута происходит не в воздухе, а в продуктах сгорания газа, имеющих пониженное содержание кислорода. Имеются газомазутные горелки, в которых при одном из двух видов топлива автоматически отключается подача второго.

Газопроводы котельного цеха. Все газообразные топлива ядовиты, и даже ничтожное просачивание их в топку ремонтируемого котла, когда в ней работают люди, совершенно недопустимо. Поэтому на трубопроводе, подводящем газ к котлу, устанавливают не менее двух задвижек. Недопустима установка к каждой отдельной горелке (рис. 22). В противном случае перед растопкой котла газ может попасть в топку через неплотные задвижки неработающих горелок и затем взорваться в топочной камере.

Примерная схема газопроводов природного газа вблизи котла

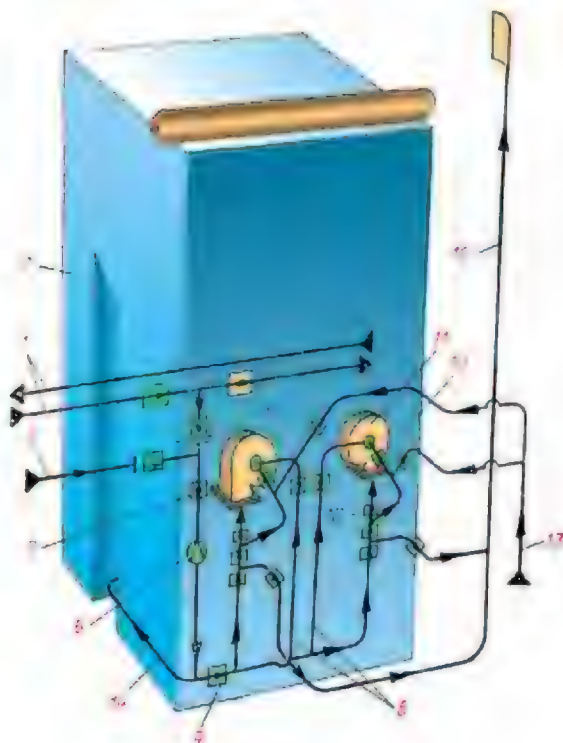


Рис. 22

1 – магистральные газопроводы, расположенные вдоль котельной; 2 – котел; 3 – быстродействующая отсекающая задвижка; 4 – заглушка, вставляемая в периоды ремонта котла; 5 – разъемная линия подачи сжатого воздуха для продувки газопроводов; 6 – линия к газовому запальнику; 7 – аварийная задвижка; 8 – расходомер; 9 – регулирующий клапан; 10 – клапаны перед горелкой, обеспечивающие периферийную и центральную подачу газообразного топлива; 11 – горелка; 12 – свеча; 13 – линия подачи пара для продувки газопроводов; 14 – подача газа к горелкам на задней стене топки

Все газопроводы можно продувать паром, слабым воздухом или азотом через специальные выхлопные линии – свечи, верхний конец которых выводится из здания котельной и расположен вдали от мест, где могут проходить люди.

Продувка через свечи включаемого участка газопровода обязательна перед растопкой котла.

Из нефтяного газа конденсируется небольшое количество влаги, вследствие чего к нижним участкам газопроводов необходимо присоединять газоотводчики.

Для природного газа газоотводчики не нужны.

Сжигание горючих газов. Длинный непрозрачный факел при сжигании горючего газа свидетельствует о недостаточном перемешивании его с воздухом или недостаточной подаче воздуха для горения.

Очень тщательное перемешивание газа и воздуха обеспечивает беспламенное горение газа (при прозрачном топочном объеме).

Эксплуатация котлов на газообразном топливе требует от машинистов большого внимания. Невнимательность или ошибка могут привести к тяжелым последствиям. Машинист всегда должен учитывать опасные свойства горючих газов; их чрезмерную взрывоопасность и ядовитость.

При аварийной остановке котла необходимо немедленное отключение подачи газа в току. Например, в случае закрытия стопорных клапанов турбин необходимо отключить газовую линию в течение нескольких секунд. На всех отводах газопроводов к отдельным котлам быстродействующая задвижка (отсечной клапан) всегда должна быть в полной готовности к немедленному закрытию (рис. 22, 23).

Условия устойчивой работы горелок

Устойчивость газового пламени в топке во всем диапазоне регулирования тепловой мощности горелок является одним из основных условий безопасной работы котла. Она возможна в том случае, если в топке имеется источник высокой температуры, которым поджигает все новые порции газозвушной смеси, поступающей из горелки. Устойчивость пламени определяется рядом факторов, в том числе скоростью его распространения, скоростью выхода газозвушной смеси, формой устья (отверстий) горелки, наличием устройств для охлаждения устья и его защищенности от нагрева за счет излучения из топки, степенью крутки воздуха и т.д.

Для принятой конструкции газогорелочного устройства и его расположения в топке, а также при использовании газа определенного состава устойчивость пламени зависит от соответствия скорости выхода газозвушной смеси скорости распространения пламени. Если эти скорости соответствуют друг другу, то каждая новая порция смеси газа с воздухом, поступающая в топку, будет успевать поджигаться от уже горящих частиц газа.

При увеличении тепловой мощности горелки сверх заданного предела скорость выхода газозвушной смеси может значительно превысить скорость распространения пламени.

Произойдет отрыв пламени, чреватый заполнением топки и газоходов котла несгоревшим газом и воздушным взрывом образующейся в них газозвушной смеси. Отрыв пламени от устья происходит не сразу: сначала начинается пульсация пламени у периферии её основания, которая с ростом скорости выхода смеси увеличивается и учащается, пока не произойдет отрыв. Наличие

даже небольшого движения воздуха, окружающего горелку, ускоряет процесс отрыва пламени.

Примерная схема газопроводов доменного газа вблизи котла

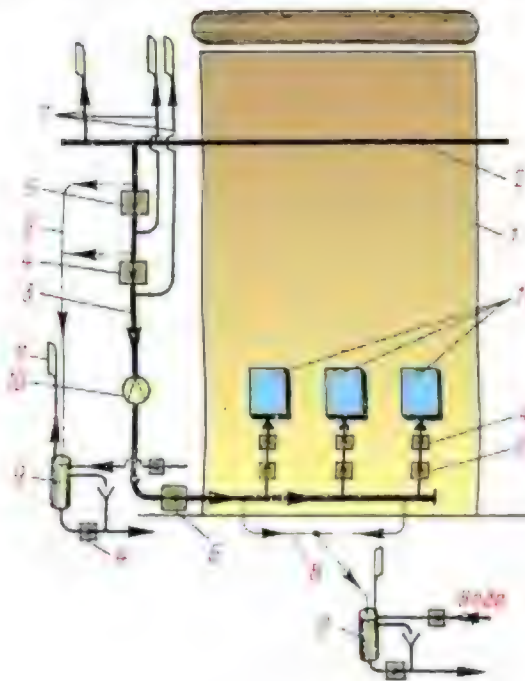


Рис. 23

1 – котел (показан с фронта); 2 – магистраль доменного газа, расположенной вдоль котельной; 3 – линия подачи доменного газа к котлу; 4 – задвижка; 5 – быстродействующая задвижка; 6 – регулирующий вентиль; 7 – свеча; 8 – линия к водоотводчику (показана условным пунктиром); 9 – водоотводчик; 10 – расходомер; 11 – газовая горелка

Та же недопустимо и уменьшение тепловой мощности ниже определенного значения, так как при этом скорость распространения пламени окажется больше скорости газозвушной смеси и горение перейдет внутрь горелки – произойдет проскок пламени.

При этом горелка может быстро выйти из строя из-за сильного перегрева, а затем произойдет заполнение топki и газоходов газозвушной смесью, с теми же последствиями, что и в первом случае.

Вопросы для самоконтроля:

1. Что такое котельная установка?
2. Для чего нужен пароперегреватель?
3. Что относится к котельно – вспомогательному оборудованию?
4. Какие бывают котлы?
5. Принцип работы котла с естественной циркуляцией воды?
6. Какие конструкции пароперегревателей вам известны?
7. Назначение экономайзера?
8. Как komponуются колы (паровые, водогрейные и др.)?
9. Топочные устройства для сжигания мазута и газа?
10. Условия устойчивой работы горелок?



2.3. Барабаны котлов

2.3.1. Устройства для очистки пара в барабане котла

Осушение пара в барабане. Для всех работающих на электростанциях котлов с естественной циркуляцией считается недопустимым вынос из барабана с паром даже небольшого количества котловой воды. Попадая в пароперегреватель, эта вода испаряется и содержащиеся в ней вещества (соли) остаются на внутренней поверхности обогреваемых труб в виде твердого осадка.

Постепенно толщина такого осадка увеличивается и передача тепла от газов к пару затрудняется.

Трубы пароперегревателя нагреваются до чрезвычайно высокой температуры, из-за чего возможны их повреждение и аварийная остановка котла.

Для получения чистого пара необходимо его полное осушение, то есть отделение (сепарация) из него капель воды.

Унос воды с паром предотвращается находящимися внутри барабана сепарационными устройствами, которые отделяют (сепарируют) влагу от пара.

Если пароводяная смесь поступает в водяное пространство барабана, то при работе котла с высокой нагрузкой возникает фонтанирование воды над её уровнем.

Высота таких «фонтанов» растет по мере увеличения паропроизводительности котла. Внутри барабанные сепарационные устройства могут уменьшить высоту бьющих над водой «фонтанов».

Условия очистки пара облегчается при увеличении высоты парового пространства барабана.

В настоящее время большинство изготавливаемых в России котлов имеют барабаны диаметром 1 300÷1 600 мм.

Иные условия имеют место при вводе пароводяной смеси в барабан над уровнем воды. Осушение пара иногда значительно облегчается благодаря тому, что из экранных труб всегда входят в барабан только крупные капли воды.

Первая и основная задача должна заключаться в том, чтобы не допустить размельчения этих капель и образования водяной пыли.

Улавливание крупных капель и брызг относительно несложно, труднее уловить мельчайшую водяную пыль (туман).

Размельчение капель воды в барабане котла происходит при столкновении двух пароводяных потоков либо при ударе пароводяного потока о стенку, перегородку или уровень воды.

Разбрызгивание воды при ударе об уровень воды или металлическую стенку зависит от скорости пароводяного потока. При малой скорости разбрызгивание уменьшается.

В большой мере разбрызгивание зависит от угла между направлением струи и поверхностью стенки или уровня воды. Разбрызгивания не происходит при косом ударе потока.

Эффективное осушение пара достигается в циклонных сепараторах, размещаемых внутри барабана – внутрибарабанных циклонах. Пароводяная смесь вводится в вертикальные стальные цилиндры, по касательной к их внутренней

поверхности, благодаря чему в каждом циклоне возникает вращательное (вихревое) движение воды и пара. При этом вода, как более тяжелая, отжимается к стойкам циклона и стекает вниз. Как и в других сосудах, где воде сообщается вихревое движение, её поверхность имеет вид воронки, внутри которой собирается пар, выходящий из верхней части циклона (рис. 24).

Внутрибарабанные устройства с паросушительными циклонами

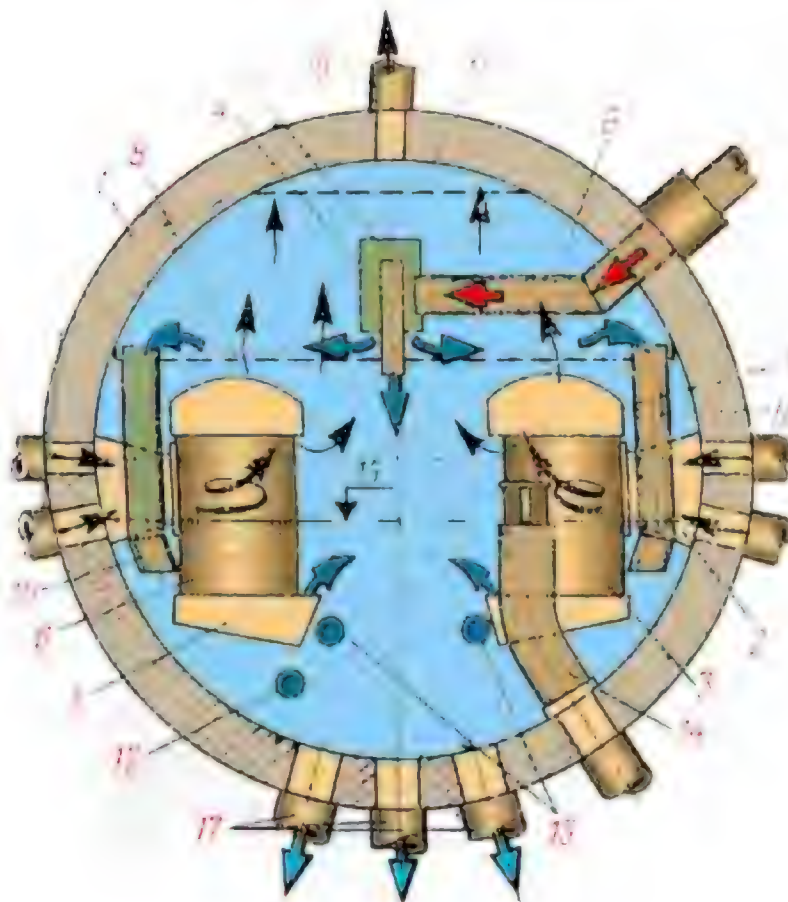


Рис. 24

1 – барабан; 2 – короб для вводимой в барабан пароводяной смеси; 3 – циклон; 4 – крышка циклона; 5 – поддон циклона; 6 – труба, подающая питательную воду; 7 – раздающий короб питательной воды; 8 – промывочный щит; 9 – насадка, отводящая воду мимо промывочных щитов; 10 – труба для слива питательной воды; 11 – верхний дырчатый лист; 12 – труба для подачи фосфатов; 13 – труба для парового разогрева барабана при растопке котла; 14 – труба аварийного сброса воды; 15 – средний уровень воды; 16 – вывод насыщенного пар; 17 – водоотпускные трубы экранов

Расположенный под циклоном поддон препятствует чрезмерному удлинению водяной воронки и передаче вихревого движения воде, находящейся вне циклона.

На поверхности воды в барабане нет ни «фонтанов» ни волн. Диаметр циклонов определяется возможностью их прохождения через торцевые лазы барабана.

В барабанах котлов большой производительности устанавливают по несколько десятков циклонов, которые загромождают внутренний объем барабанов и затрудняют ремонтные работы. Однако попытки значительного упрощения конструкции циклонов и уменьшения их размеров приводят к снижению их эффективности.

Из других стационарных устройств часто применяют жалюзийные щиты (рис. 25).

Схема размыва пены питательной водой и очистки пара в жалюзийных щитах

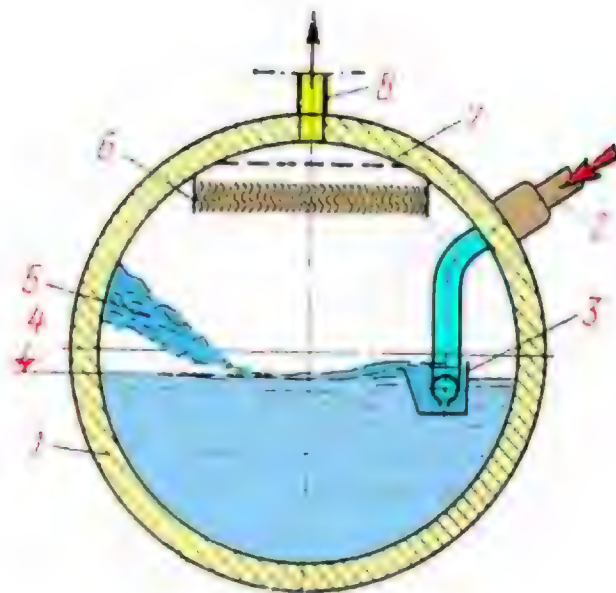


Рис. 25

1 – стенка барабана; 2 – ввод в барабан питательной воды; 3 – питательное корыто; 4 – уровень воды в барабане; 5 – пена; 6 – жалюзийный сепаратор; 7 – дырчатый лист; 8 – вывод пара из барабана

В них пар поднимается по извилистому пути между стальными гофрированными пластинами. Находящаяся в паре влага оседает на поверхности металла, собирается в крупные капли и опускается против направления парового потока. Дырчатый лист улавливает прошедшие через жалюзийные сепараторы единичные капли воды.

Для эффективности работы жалюзийных щитов необходимо, чтобы в них полностью отсутствовали щели, по которым могло бы проходить по прямому пути хоты бы небольшое количество пар.

О качестве сборки щитов в барабане судят иногда по тому, виден ли сквозь эти щиты свет от помещенной за ними электрической лампы.

Образование пены и борьба с ней. Растворенные в котловой воде щелочи и фосфаты способствуют образованию на поверхности воды слоя пены.

При большой высоте пены отдельные её хлопья могут выдуваться паром в пароперегреватель.

Вместе с пеной выносятся содержащиеся в ней вещества, образующие в трубах пароперегревателя слой опасной накипи. Надежным способом уменьшения вреда от пенообразования является размыв пены питательной водой.

Сущность этого процесса такая же, как при размыве пены в бытовых условиях. Содержание солей в питательной воде меньше, чем в котловой воде, поэтому, соприкасаясь с питательной водой, пена растворяется в ней и высота её слоя уменьшается.

В котлах среднего давления питательную воду часто вводят в питательное корыто, из которого она разливается по поверхности воды в барабане и поглощает пену (рис. 25) Такой размыв пены можно применять только тогда, когда питательная вода нагрета до температуры насыщения (кипения). В противном случае она, как более холодная, опускается в нижнюю часть барабана, почти не соприкасаясь с пеной.

Нельзя делать такого размыва пены и там, где уровень воды сильно колеблется под действием поднимающейся под уровнем пароводяной смеси.

В большинстве котлов высокого давления питательная вода вводится в верхнюю часть барабана.

Одновременно с размывом пены производится очистка пара от растворенных в нем солей.

Промывка пар питательной водой. С повышением давления возрастает плотность насыщенного пара и увеличивается растворимость в нем солей.

Особенно опасно наличие в паре растворенной кремниевой кислоты и кремниевых солей, которые при охлаждении пара в турбине могут образовывать на её рабочих лопатках трудно удаляемые отложения.

Для очистки от растворенных веществ пар проходит в верхней части барабана через слой питательной воды, которая, как при размыве пены, растворяет эти вещества и вместе с ними сливается в объем котловой воды, где содержание растворенных веществ допускается более высоким.

Питательная вода, выходя из горизонтальной трубы (рис. 26), разливается по поверхности дырчатого щита и удаляется в отводящий короб. Пар проходит вверх через отверстия в дырчатом щите и затем, поднимаясь в слое воды, промывается.

После промывки пар проходит через верхний дырчатый лист, служащий для улавливания отдельных брызг питательной воды, и удаляется из барабана в пароперегреватель.

Для работы паропромывочных устройств необходимо прежде всего, чтобы скорость пара в отверстиях дырчатого щита была при 115 кгс/см^2 не менее $0,8 \text{ м/сек}$, а при 155 кгс/см^2 – не менее $0,65 \text{ м/сек}$.

При меньшей скорости пар не может препятствовать протеканию питательной воды сквозь отверстия.

Тогда вода сливается не в отводящий короб, а сквозь дырчатый щит, а пар, проходя сквозь другую часть этого щита, почти не смачивается водой. Кремниевая кислота при этом почти не улавливается (рис. 26, б).

Условия работы паропромывочного устройства в барабане котла высокого давления

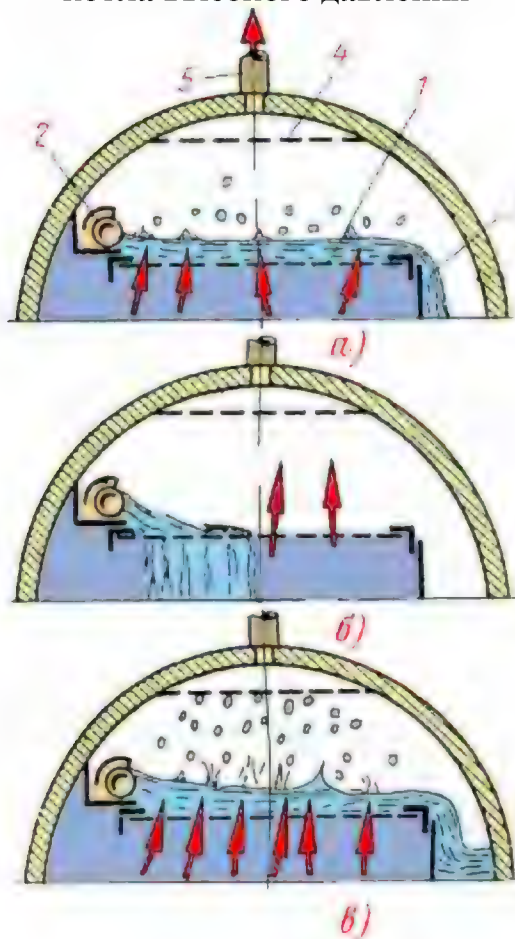


Рис. 26

a – правильная работа; *б* – малая скорость пара; *в* – высокая скорость пара; 1 – паропромывочный дырчатый щит; 2 – труба питательной воды; 3 – отводящий короб; 4 – верхний дырчатый лист; 5 – паровыводящая труба

Недопустима и слишком высокая скорость пара, при которой сперва резко увеличивается число брызг над слоем питательной воды, а затем возникают описанные выше «фонтаны», появление которых приводит к быстрому возрастанию толщины слоя воды на промывочных щитах.

Заброс этой воды в пароперегреватель может стать причиной значительного снижения температуры перегретого пара и аварийной остановки паровой турбины.

При наличии в барабане паропромывочных устройств становится опасной работа котла с нагрузкой, превышающей расчетную.

На промывочные щиты нельзя подавать не только слишком много пар, но и чрезмерно большое количество воды.

Это приводит к увеличению высоты её слоя и также может повлечь за собой унос части воды в пароперегреватель. Поэтому во многих котлах только половина питательной воды используется для промывки пара и каждая вторая

питательная труба направлена мимо промывочного устройства под уровень воды в барабане (рис. 27).

Схема движения питательной воды в барабане котла

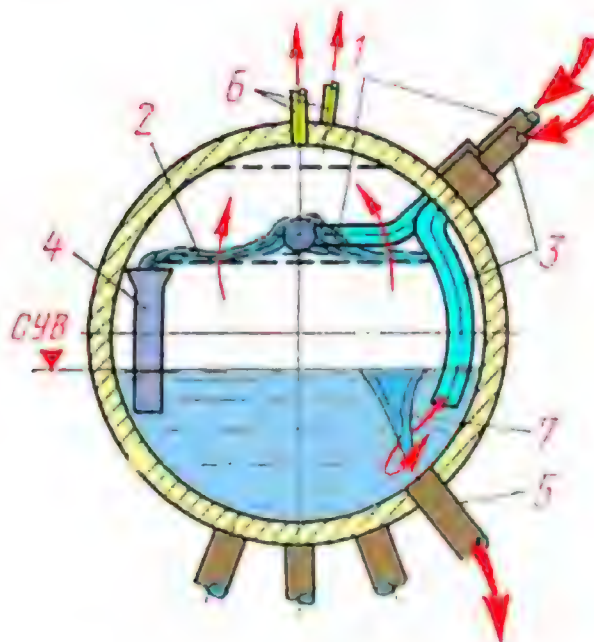


Рис. 27

1 – труба, по которой питательная вода направляется на дырчатый лист 2 для промывки пара; 3 – трубы для подачи питательной воды в водяное пространство барабана (трубы 1 и 3 изображены смещенными относительно друг друга); 4 – короб для слива воды с дырчатого листа (короб на противоположной стороне барабана условно не показан); 5 – водопускная труба экрана; 6 – отвод пара из барабана; 7 – воронка; СУВ – средний уровень воды в барабане

Излишек воды из короба над промывочными щитами сливается мимо этих щитов через расположенную внутри короба насадку (рис. 24).

При эксплуатации котла с паропромывочным устройством нужно учитывать, что наличие слоя воды в верхней части барабана неизбежно увеличивает возможность её уноса паром. Опасны различные резкие изменения питания котла, при которых временно увеличивается высота слоя воды над промывочными дырчатыми листами.

Это может произойти не только при быстром повышении нагрузки, но при резком снижении давления, когда уменьшается температура кипенья и в толщине слоя питательной воды начинают образовываться паровые пузыри.

Недопустимо и значительное повышение уровня воды в барабане, когда возрастает часть поверхности дырчатых листов, закрытая слоем пены, из-за чего пар проходит через отверстия с повышенной скоростью.

Кроме водоочистительных устройств, в барабане размещают и другое оборудование. Оно несложно, но при его установке нужно учитывать опасность ухудшения качества пар. Так трубку для подачи фосфатов обычно раз-

мешают в нижней части барабана, над водоопукными трубами экранов. Установка этой трубы над подъемными трубами могла бы привести к тому, что фосфаты выбрасывались бы паровыми пузырями на поверхность воды и создали бы над ней слой пены.

На всех энергетических котлах в барабане имеется труба для аварийного слива воды (сброса) излишка воды в случае чрезмерного повышения её уровня. Верхний открытый коней её находится на высоте верхнего допустимого уровня воды в барабане.

2.3.2. Ступенчатое испарение

Принцип действия. Разработанное профессором Э.И. Роммом ступенчатое испарение заключается в разделении водяного объема барабана перегородками на чистый отсек и один или два солевых отсека. К каждому из отсеков, присоединена своя группа экранов и других испарительных поверхностей нагрева (рис.28).

Действие ступенчатого испарения легче понять, рассматривая конкретный пример.

Предположим, что в экранах двух солевых отсеков, присоединенных к обоим концам барабана, образуется 15% вырабатываемого котлом пара.

При нагрузке котла 100 т/час в экранах солевых отсеков ежечасно испаряется 15 тонн воды. Примем солесодержание питательной воды 50мг/л. Вся питательная вода вводится в чистый отсек. Котловая вода в этом отсеке имеет солесодержание 400 мг/л.

Большая часть воды – в нашем примере 85 из 100 т/час – испаряется при сравнительно невысоком солесодержании.

Если отдельные брызги воды даже и попадут в пароперегреватель, они уносят с собой сравнительно мало солей.

В данном случае не приходится опасаться и высокого слоя пены.

Часть воды из чистого проходит в солевые отсеки через отверстия в разделительных перегородках (рис. 28).

Эта вода с солесодержанием 400 мг/л является как бы питательной водой для солевых отсеков, в которых котловая вода имеет более высокое содержание солей.

В нашем примере оно равно 2 000мг/л.

Очистка пара, выходящего из солевого отсека, более затруднительна. Этот пар осушают более тщательно, используя для этого свободный объем торцевой части барабана. Все же иногда из солевых отсеков уходит с паром в пароперегреватель некоторое количество солей.

Но такого пара немного – всего 15%.

Схема работы двухступенчатого испарения с двумя солевыми отсеками, включенными в торцы барабана

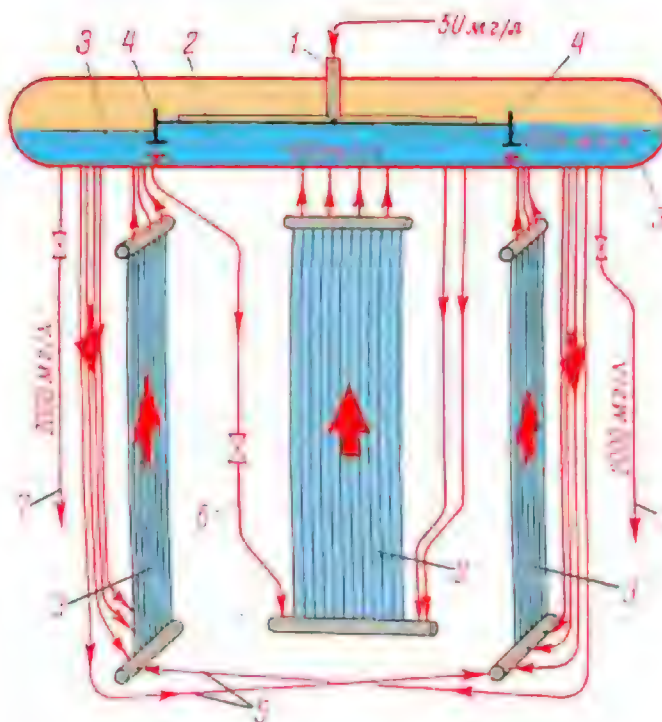


Рис. 28

1 – подача питательной воды; 2 – чистый отсек; 3 – солевой отсек; 4 – разделительная перегородка; 5 – уравнительная труба между солевыми отсеками; 6 – труба с вентилем для регулирования солевого содержания воды в солевых отсеках; 7 – непрерывная продувка

Непрерывная продувка присоединена только к солевым отсекам. С каждым литром удаляемой воды выносятся 2 000 мг солей; следовательно продвигать котел нужно примерно в 5 раз меньше, чем без ступенчатого испарения, когда продувочная вода имела бы солевого содержания 400 мг/л.

Таков в самых основных чертах принцип ступенчатого испарения в паровом котле.

Разделение барабана на отсеки. В солевые отсеки обычно выделяют один или оба торцевых участка котельного барабана и от 5 до 30% поверхности нагрева экранов. Перегородками разделяют только водяные объемы внутри барабана. Перетекание воды из чистого отсека в солевые происходит за счет более высокого уровня воды в чистом отсеке. Чем выше нагрузка котла, тем больше эта разность уровней. Водоуказательные колонки устанавливают в каждом из отсеков ступенчатого испарения.

У современных котлов большой мощности барабан имеет длину до 16–20 м. В концах такого барабана даже при отсутствии ступенчатого испарения может быть не одинаковым солевого содержание в котловой воде.

Солевого содержание воды в правом и левом солевых отсеках может отличаться в несколько раз.

Ступенчатое испарение с выносным циклоном

В циркуляционном контуре, присоединенном к выносному Циклону, вода не проходит через барабан котла.

Из экранных труб (рис. 29) пароводяной поток направляется в циклон, в котором при вращательном движении вода отделяется от пара и отводится в нижний коллектор экрана. Пар поднимается в верхнюю часть циклона и по пароотводящей трубе направляется в барабан котла.

Труба меньшего диаметра служит для питания экрана водой для того, чтобы при непрерывном испарении уровень воды в циклоне не изменялся.

Выносные сепарационные циклоны устанавливают на вторую и третью ступень испарения и питают котловой водой либо из чистого отсека, либо из отсеков ступени. Распространены выносные циклоны диаметром около 350 мм паропроизводительностью 25 т/час и высотой не менее 4 м. Высокая верхняя часть циклона нужна для надлежащего осушения пара.

Глубокая нижняя часть нужна для того, чтобы избежать попадания пара в опускную трубу, в случае, если уровень воды в циклоне примет вид глубокой воронки.

Ввод в циклон пароводяной смеси из экранных труб должен быть расположен выше уровня воды в барабане.

Схема работы выносного сепарационного циклона

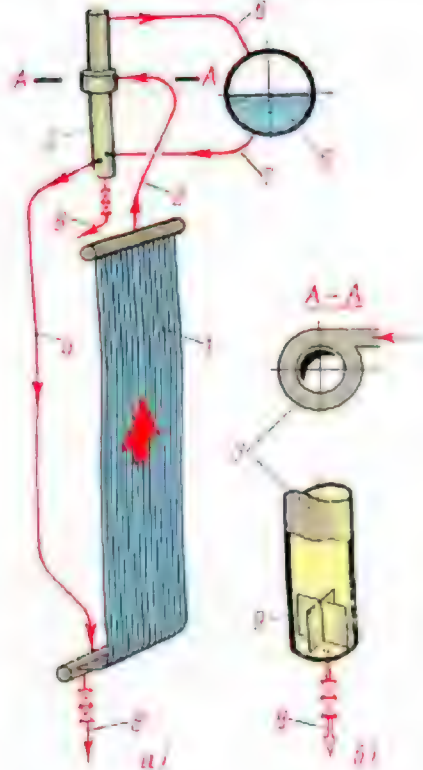


Рис. 29

а – схема циркуляционного контура; б – нижняя часть циклона; 1 – обогреваемые экранные трубы; 2 – отводящая труба; 3 – выносной сепарационный циклон; 4 – водоопускная труба; 5 – барабан; 6 – пароотводящая труба; 7 – труба, подводящая в циклон воду из барабана; 8 – дренаж; 9 – крестовина в нижней части циклона

Для пара, входящего из циклона, обычно не требуется дополнительного осушения в барабане котла. Необходима лишь его промывка от кремниевой кислоты.

Во многих котлах к одному циркуляционному контуру экрана присоединяют два выносных сепарационных циклона. Если такой экран обогревается неравномерно по ширине, то в циклонах может возникнуть опасное расхождение уровней воды. Обычно ниже уровень держится в том циклоне, в который отводится большее количество пара.

Установка горизонтальных уравнильных труб, соединяющих циклоны по концам, уменьшает расхождение уровней, но не ликвидирует его.

У таких котлов при нарушении циркуляции воды в присоединенных к циклонам экранах необходимо проверить уровень воды в каждом из циклонов.

При завихрённом характере движения воды в циклоне, ее уровень не может быть горизонтальным. В средней части циклона вода образует воронку, а у стенок уровень повышается. В водоуказательных приборах виден средний уровень воды. При глубокой водяной воронке возникает опасность попадания паровых пузырей в водоопускные трубы экрана, что может привести к нарушению циркуляции и повреждению труб.

Во избежание этого в самой нижней части циклона имеется крестовина, препятствующая завихрению воды в этой зоне (рис. 29, б).

Условия применения ступенчатого испарения. На электростанциях ступенчатое испарение явилось весьма действенным мероприятием для уменьшения потери воды и тепла с исправной продувкой. Оно наиболее эффективно у котлов, питаемых водой с высоким солесодержанием.

Для котлов, у которых питательная вода состоит из конденсата и обессоленной воды, полезность ступенчатого испарения снижается, поскольку даже при его отсутствии нужно удалять с непрерывной продувкой менее 1% воды.

Отдельные конденсационные станции ликвидировали на своих котлах перегородки между отсеками ступенчатого испарения внутри барабана и тем самым либо стали работать без него, либо изменили трехступенчатое испарение на двухступенчатое, где второй ступенью стали экраны, сопряженные (присоединенные) к выносным сепарационным циклонам.

Вопросы для самоконтроля:

1. Какие элементы котла вы знаете?
2. Что вы понимаете под сепарацией пара?
3. Как влияет пенообразование на качество пара?
4. Назначение барабана и котлов с естественной циркуляцией.
5. Зачем нужно ступенчатое испарение?
6. Условия применения ступенчатого испарения?



2.4. Экраны котлов

2.4.1. Экраны котлов с естественной циркуляцией воды

Основным процессом, происходящим в экранных трубах котлов докритического давления, является превращение воды в пар.

На упрощенной схеме (рис. 8) показано, что парообразование происходит только в обогреваемых трубах (на рисунке справа). В не обогреваемых (опускных) трубах находится только вода. Поэтому соединенные между собой трубы экрана можно условно уподобить двум сообщающимся сосудам, в которых имеются различные жидкости: в левом сосуде – вода, а в правом – пароводяная смесь.

В таких сообщающихся сосудах обе жидкости находятся в равновесии лишь тогда, когда они производят одинаковое давление на нижнюю часть сосудов в месте их сопряжения, в данном случае – на нижний коллектор.

Равновесие могло бы наступить, если бы обогреваемые и нагреваемые трубы не были соединены наверху (рис. 8, а). Тогда уровень пароводяной смеси держался бы значительно выше уровня воды.

Этого нет в экране. Высота столба воды в необогреваемых трубах и пароводяной смеси держался бы значительно выше уровня воды.

В таком состоянии жидкость в трубах не может находиться в равновесии. Пока продолжается испарение воды, происходит непрерывное перетекание воды из левого сосуда в правый и движение воды и пароводяной смеси в направлении, показанном на рис. 8, б стрелками.

Такое круговое движение называют циркуляцией воды в паровом котле. Пар проходит только часть этого кругового пути и, следовательно, не циркулирует.

Замкнутый путь, по которому циркулирует вода, называют циркуляционным контуром.

По закону Паскаля давление внизу сосуда (в данном случае давление на воду в нижнем коллекторе) не зависит от формы сосуда (обогреваемой или выпускной трубы) и определяется исключительно весом вертикального столба жидкости. Вес столба воды в опускных трубах всегда больше веса столба пароводяной смеси в подъемных трубах.

Чем больше эта разность весов, тем с большей скоростью движется вода в циркуляционном контуре.

Если отдельные трубы циркуляционного контура обогреваются неодинаково, то скорость воды обычно больше в тех трубах, в которых образуется большее количество пара.

При сложной картине распределения скорости воды внутри циркуляционного контура каждый контур характеризуют одним значением скорости. Выбирают эту скорость таким образом, чтобы, зная ее, можно было составить представление о свойствах всего циркуляционного контура. В качестве такой характеристики принимают скорость воды на входе в трубу, где начинается испарение. Ее называют скоростью циркуляции.

Расчетной скоростью циркуляции считают среднюю скорость при обычных ее колебаниях.

На рис. 8, б скорость циркуляции соответствует скорости воды в нижнем конце обогреваемой трубы.

При очень малой нагрузке, то есть при почти полном отсутствии паробразования, скорость циркуляции равна или почти равна нулю. С повышением нагрузки она увеличивается, но лишь до некоторого предела.

При высокой нагрузке котла циркуляции изменяется мало, а в отдельных циркуляционных контурах даже немного снижается (рис. 9).

Вследствие этого при малой нагрузке котла всякое изменение его производительности немедленно резко изменяет циркуляцию. При высокой нагрузке циркуляция более надежна и устойчива.

Это в значительной мере объясняет то обстоятельство, что большой процент циркуляционных аварий возникает в периоды работы котлов с пониженной производительностью.

У котлов среднего давления скорость циркуляции обычно равна 0,6–0,8 м/с при полной нагрузке котла.

У котлов высокого давления циркуляция воды легче может нарушиться и ее скорость выбирается котлостроительными заводами порядка 1,0÷1,2 м/сек.

В двухсветных экранах скорость циркуляции равна 1,6 м/сек.

Для обеспечения более высокой скорости увеличивают количество необогреваемых водоопускных труб экранов.

Чем меньше ширина каждого циркуляционного контура, тем менее вероятно значительная неравномерность в обогреве его отдельных труб, при которой возможно неустойчивое движение воды в наименее обогреваемых трубах.

В современном котле с естественной циркуляцией каждый экран состоит из трех-пяти циркуляционных контуров. В каждом из контуров нижние концы обогреваемых труб включены в горизонтальный коллектор (камеру), а верхние концы либо во второй коллектор, либо непосредственно в барабан котла.

Необогреваемые водоопускные трубы включены верхним концом в самую нижнюю часть барабана, а нижним – в тот же коллектор, что и обогреваемые трубы (рис. 9).

Неравномерность обогрева отдельных труб несколько возрастает из-за того, что экранные трубы, огибая амбразуру топливной горелки, заслоняют собой соседние трубы или сами заслоняются ими.

Но обычно такая неравномерность не доходит до опасных пределов.

2.4.2. Изменение уровня воды в барабане

Чрезмерное снижение уровня воды в барабане котла (упуск уровня) становится опасным задолго до опорожнения барабана и даже до оголения верхних концов водоопускных труб экранов. Над этими отверстиями в воде образуются воронки, подобные тем, какие можно наблюдать при вытекании воды

из обычной ванны, в которой вы моетесь, через сливное отверстие, когда оно находится неглубоко под уровнем воды.

С повышением температуры уменьшается вязкость воды, и такие воронки возникают при большой высоте ее слоя, нежели в бытовых уровнях.

Образование воронок ускоряется при завихренном движении воды в барабане.

Как указывалось выше, циркуляция воды в котле происходит вследствие разницы между весом столба воды в опускных трубах и весом столба пароводяной смеси в подъемных трубах. Циркуляция тормозится и даже прекращается, если в опускных и подъемных трубах имеется пароводяная смесь.

При засасывании пара в опускные трубы движение становится неравномерным, толчкообразным.

Оно замедляется по мере возрастания количества пара в опускных трубах. Но при этом немедленно прекращается попадание в них пара.

Паровые пузыри всплывают, частично они могут быть унесены вниз, и в опускных трубах остается только вода. Тогда снова возникает циркуляция с большой скоростью. В опускных трубах опять появляется пар, который снова начинает тормозить циркуляцию, т.д.

При возникающей неравномерной циркуляции трубы повреждаются не только в верхней части топочной камеры, но и гораздо ниже, иногда даже на уровне горелок. Разрыв труб иногда происходит не в момент наибольшего упуска уровня воды, а позже, когда уровень начинает повышаться и кажется, что опасность миновала. Все это указывает на то, что при упуске уровня нужно опасаться не только оголения верхних концов экранных труб, но и нарушения циркуляции в экранах из-за появления пара в опускных трубах.

Во время работы котельного агрегата уровень воды в барабане должен поддерживаться между верхним и нижним предельным положениями, которые указываются заводом-изготовителем котла.

На многих электростанциях среднего давления при снижении уровня воды за пределы его прямой видимости практикуется проверка уровня «на подтяжку».

При закрытии верхнего крана пар в водоуказательной колонке конденсируется и его объем сокращается.

Вода в нижней части колонки поднимается и показывается в стекле. Котел останавливают лишь тогда, когда при «подтяжке» уровень перестает появляться.

У современных котлов высокого давления изменения уровня воды должны ограничиваться более жестко.

Кроме предельных положений уровня воды, находящихся обычно на 50÷75 мм от среднего, завод-изготовитель указывает верхние и нижние аварийные положения уровня. Чрезмерное его повышение может привести к уносу воды с выходящим из барабана паром, а снижение – к возникновению воронок над водоопускными трубами экранов и нарушению устойчивости циркуляции в них воды. Возможны и другие последствия чрезмерного изменения уровня. Например, при малой высоте слоя воды над поддонами внутрибара-

банных сепарационных циклонов (рис. 24) вода из этих циклонов разбрызгивается внутри барабана, из-за чего ухудшается качество пара.

При отклонении уровня воды сначала автоматически включается световая и звуковая сигнализация.

В случае дальнейшего повышения уровня автоматически открывается линия сброса (аварийный сброс) воды из барабана котла. При ещё большем повышении или снижении уровня защитные устройства останавливают котел.

Наиболее опасны периоды растопки котла и взятия им нагрузки после растопки, когда уровень воды в барабане регулируют вручную. Такое регулирование должно производиться особенно четко.

2.4.3. Тепловые перемещения экранов

Почти у всех котлов с естественной циркуляцией воды экраны с их необогреваемыми опускными трубами висят на размещенных сверху котла опорах или на верхних коллекторах и барабанах.

Сами барабаны и верхние экранные коллекторы либо подвешены к балкам каркаса, либо лежат на опорах.

При растопке этих котлов экранные трубы при нагревании удлиняются и при остановке снова укорачиваются. Перемещение нижних коллекторов экранов в вертикальном направлении составляет $40 \div 60$ мм, а иногда и более.

Удлиняются при нагревании и сами барабаны и экранные коллекторы. Свободное тепловое перемещение барабанов обеспечивается тем, что их подвески делают шарнирными, а опоры роликовыми.

Если у котла два верхних барабана, то при растопке они расходятся вследствие удлинения соединяющих их труб (рис. 9).

Распрямление изогнутых труб подового экрана или труб холодной воронки предотвращается тем, что нижние коллекторы противоположных экранных секций жестко присоединяют друг к другу.

2.4.4. Периодическая продувка экранов

Периодическая продувка экранов (коллекторов экранов) производится только у котлов с естественной циркуляцией воды и имеет целью удаление оседающих в этих коллекторах веществ.

Периодическая продувка экранов может не производиться при почти полном отсутствии в котловой воде взвешенных частиц (прежде всего, частиц окислов железа и меди).

При открытии вентилей периодической продувки давление в нижнем экранном коллекторе несколько снижается, из-за чего уменьшается скорость циркуляции в присоединенных к этому коллектору трубах.

Поэтому периодически продувку не рекомендуется производить при ослабленной циркуляции в котле, то есть при неустойчивом горении в топке, в периоды изменения нагрузки котла и при его работе с низкой нагрузкой.

Есть основания полагать, что осевшие в нижних экранных коллекторах твердые частицы шлама выдуваются с водой только в первые секунды после открытия продувочных вентилях.

Периодическая продувка каждого коллектора должна продолжаться не дольше 30 секунд. Увеличение её длительности не только бесцельно, но опасно, поскольку при продолжительном ослаблении циркуляции становится более вероятным её нарушение.

Периодическую продувку иногда производят при растопке котла для удаления холодной воды из нижних экранных коллекторов. Такая продувка способствует возникновению циркуляции, но должна быть прекращена, как только нижние камеры прогреются.

2.4.5. Коррозия экранных труб

Коррозионные разрушения возникают как на внутренней, так и на наружной поверхности экранных труб.

Причины коррозии различны.

Вместе с питательной водой в котел вносятся мельчайшие частицы окислов железа и меди.

Эти частицы являются продуктами коррозии подогревателей, трубопроводов и другого оборудования электростанции.

По ПТЭ допускается лишь ничтожное их содержание в питательной воде (рис. 30).

Бывает, однако, что по различным причинам окислы железа и меди выносятся в котлы в чрезмерном количестве.

Максимально допустимое содержание отдельных веществ в питательной воде котлов большой производительности

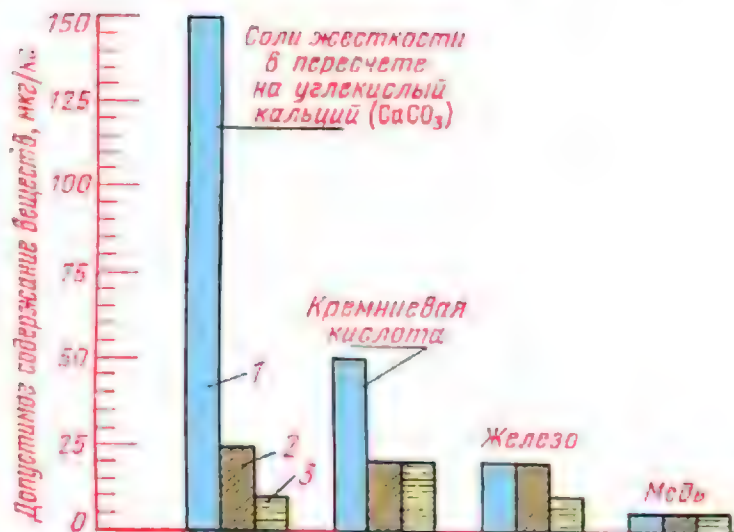


Рис. 30

1 – в котлах с естественной циркуляцией на 140 кгс/см²; 2 – в прямоточных котлах на 140 кгс/см²; 3 – в котлах сверхкритического давления

В котлах с естественной циркуляцией воды лишь часть этих окислов удаляется при непрерывной и периодической продувке. Значительно их количество накапливается в котле и циркулирует с котловой водой. При возрастании их содержания в воде они отлагаются на внутренней поверхности экранных труб.

Обычно на стенах труб вместе с окислами железа оседает часть растворенных в воде солей. Количество и состав этих солей зависит от особенностей солесодержания воды.

Действие таких отложений может быть различным. Иногда оно ограничивается повышением температуры стенки экранных труб, как при других видах накипи.

В других случаях, если осевшем шламе содержится лишь немного неметаллических веществ, возникает подшламовая коррозия металла.

В местах соприкосновения осевших частиц со стенкой трубы возникают слабые электрические токи, при которых металл трубы является анодом, а окислы железа и меди катодом.

Скрытый процесс переноса атомов железа с анода на катод и постепенного разрушения стенок трубы может длительное время оставаться незамеченным.

Иногда год, два или еще дольше котлы продолжают бесперебойно работать, хотя на внутренней поверхности экранных труб под тонким слоем осевшего металлического шлама растут и углубляются коррозионные язвы.

Наконец, в трубах появляются сквозные отверстия в топку начинают бить струи воды.

Взвешенные частицы выпадают из котловой воды преимущественно в зоне наиболее интенсивной передачи тепла, т.е. в нижней части топки, против ядра факела.

Отложение частиц происходит прежде всего вблизи различных неровностей на внутренней поверхности труб, например у сварных стыков (рис. 31), а также в местах гибов труб.

Во избежание возможности таких повреждений нужно следить за тем, чтобы содержание в питательной воде окислов железа и меди не превышало допустимых значений, а также оберегать от коррозии весь тракт питательной воды.

Экранные трубы могут разрушаться стояночной коррозией.

При наличии в энергетической системе достаточной мощности часть оборудования и прежде всего старые менее экономичные котлы и турбины периодически останавливают и оставляют в резерве.

В нерабочем состоянии в поверхностном слое металла котлов иногда возникают различные химические процессы, именуемые стояночной коррозией.

Подшламовая коррозия экранных труб котлов

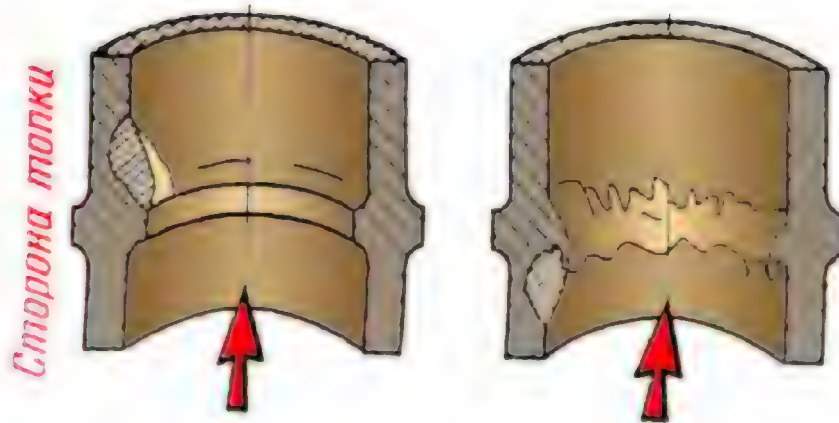


Рис. 31

Такая же коррозия может происходить и в периоды ремонта котлов.

Опасна не только стояночная коррозия самих котлов, но и коррозия при остановках оборудования во всем пароводяном тракте электростанции (котельной) – в подогревателях, теплообменниках, трубопроводах и т.д.

После пуска в работу котла и турбины возникшие в результате этой коррозии мельчайшие частицы окислов железа и меди вносятся в котлы, где, отлагаясь на внутренней поверхности труб, ухудшают условия передачи тепла. Было замечено, что такие частицы выпадают внутри труб преимущественно там, где передается максимальное количество тепла, т.е. в зоне «ядра» факела, где их отложение наиболее опасно.

Борьба со стояночной коррозией водяного тракта электростанции более всего затруднительна в прямоточных котлах, где очистка питательной воды должна производиться наиболее тщательно и недопустимо даже небольшое ее загрязнение продуктами коррозии.

Стояночная коррозия наружной поверхности труб возникает иногда в случаях, когда очистка топки и газоходов осуществляется путем их обмывки струей воды и когда после этой обмывки остаются не удаленными отдельные смоченные водой отложения золы и сажи.

Высокотемпературная газовая коррозия возникает при наличии в топочной газовой несгоревшей серы или продукта ее химического соединения с водородом – сероводорода.

В присутствии свободного кислорода эти вещества сгорают и становятся безвредными для экранных труб.

Но при отсутствии свободного кислорода возникает химическая реакция между серой и металлом труб с образованием хрупкого твердого вещества – сернистого железа.

В котлах среднего давления вода кипит при температуре $240 \div 250$ °С, а обращенная в топку часть экранных труб имеет температуру на $20 \div 40$ °С выше.

При такой температуре возникает на поверхности труб тончайший слой сернистого железа препятствует соприкосновению топочных газов с металлом самих труб, вследствие чего, коррозия труб практически не происходит.

Но в котлах высокого давления при нагреве труб до 350 °С защитный слой растрескивается и не может препятствовать коррозионному разрушению металла.

Высокотемпературная коррозия экранных труб при сжигании мазута возникает преимущественно у котлов сверхкритического давления, в которых трубы радиационной части диаметром 32÷42 мм имеют стенки толщиной 6÷7 мм.

Вопросы для самоконтроля:

1. Принцип осуществления циркуляции в котле?
2. Что понимается под циркуляционным контуром?
3. Чем опасно изменение уровня в барабане котла?
4. Для чего нужна периодическая продувка экранов?
5. Какие виды коррозии экранных труб вы знаете?



2.5. Пароперегреватели

2.5.1. Конструкции пароперегревателей

Элементы пароперегревателя. Пароперегреватель предназначен для перегрева поступающего в него пара до заданной температуры. В пароперегревателе современного котла различают радиационную, полурadiационную (ширмовую) и конвективную части.

Радиационная часть походит по конструкциям на экраны и подобно им расположена на стенах и потолке топки.

Как и в экранах, трубы радиационной части пароперегревателя воспринимают лучистое тепло, выделяемое топочными газами.

Конвективная часть пароперегревателя расположена вне топки котла. У котлов среднего давления в конвективных газоходах находится обычно весь пароперегреватель. У большинства котлов высокого и сверхкритического давления – лишь его часть. Эта поверхность нагрева представляет собой трубные пакеты, в которых дымовые газы проходят между находящимися друг от друга на расстоянии порядка 100мм горизонтальными змеевиками (рис. 32, 33). Основное количество тепла передается конвекцией.

В котлах среднего давления на перегрев пара затрачивается до 20% тепла, воспринимаемого котельным агрегатом от дымовых газов. В этих условиях пароперегреватель относительно невелик и может быть размещен между конвективными поверхностями нагрева.

В современных котлах, работающих на параметры пара $P = 140 \text{ кгс/см}^2$ и $t = 570 \text{ }^\circ\text{C}$, на долю пароперегревателя приходится около 35% воспринимаемого котлом тепла, а при наличии промежуточного перегрева пара – до 50% тепла.

**Упрощенная схема одного из конвективных трубных пакетов
пароперегревателя котла сверхкритического давления**

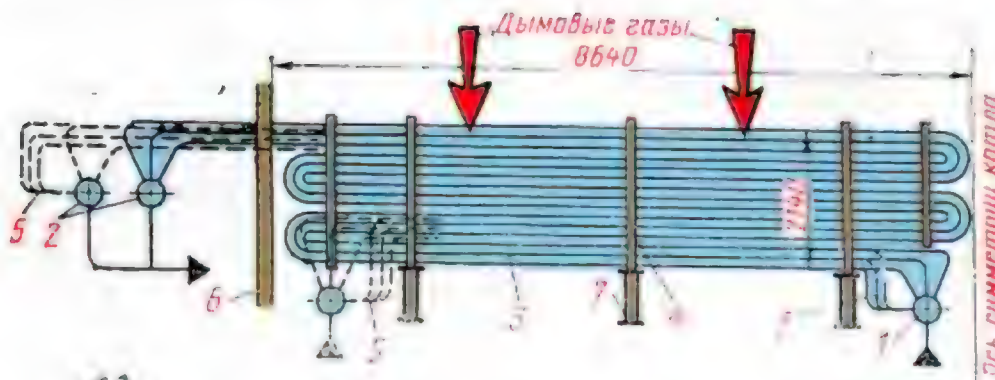


Рис. 32

1 – входной коллектор; 2 – выходной коллектор; 3 – трубный паче; 4 – дистанционирующая стойка; 5 – включение в коллектор крайних змеевиков трубного пакета; 6 – боковая стена газохода; 7 – охлаждаемая воздухом опорная балка

Такой пароперегреватель не может состоять только из конвективных трубных пакетов, он должен воспринимать и часть выделяемого в топке лучистого тепла.

Ещё большая доля лучистого тепла приходится на пароперегреватель в котлах сверхкритического давления.

По назначению пароперегреватели делятся на первичные, в которых перегревается пар высокого давления, и промежуточные, служащие для перегрева пара, возвращаемого из турбины.

Схемы движения пара в пароперегревателе. Направление движения пара в змеевиках пароперегревателя может совпадать с направлением движения газового потока – прямоточное – или быть ему противоположным – противоточное.

При прямоточной схеме движения пара (рис. 34) требуется большая поверхность нагрева пароперегревателя, что вызвано относительно низким температурным перепадом (температурным напором) между дымовыми газами и паром. Кроме того, при такой схеме возможны пережоги труб в первых змеевиках (по ходу пара), так как соли, уносимые паром из барабана котла откладываются в них больше, чем в последних змеевиках.

В современных паровых котлах эту схему применяют редко.

При противоточной схеме движения (рис. 34, б) при прочих равных условиях требуется меньшая поверхность нагрева, но повышается температура нагрева труб в выходных змеевиках пароперегревателя, что может вызвать их пережог.

Смешанная схема движения газов и пара (рис. 34, в) наиболее надежна в эксплуатации. В этом случае входные змеевики (по ходу пара), в которых наблюдаются наибольшие отложения солей, и выходные змеевики с паром мак-

симальной температуры отнесены в область умеренных температур дымовых газов.

Условия регулирования температуры пара промежуточного перегрева в котле с естественной циркуляцией воды

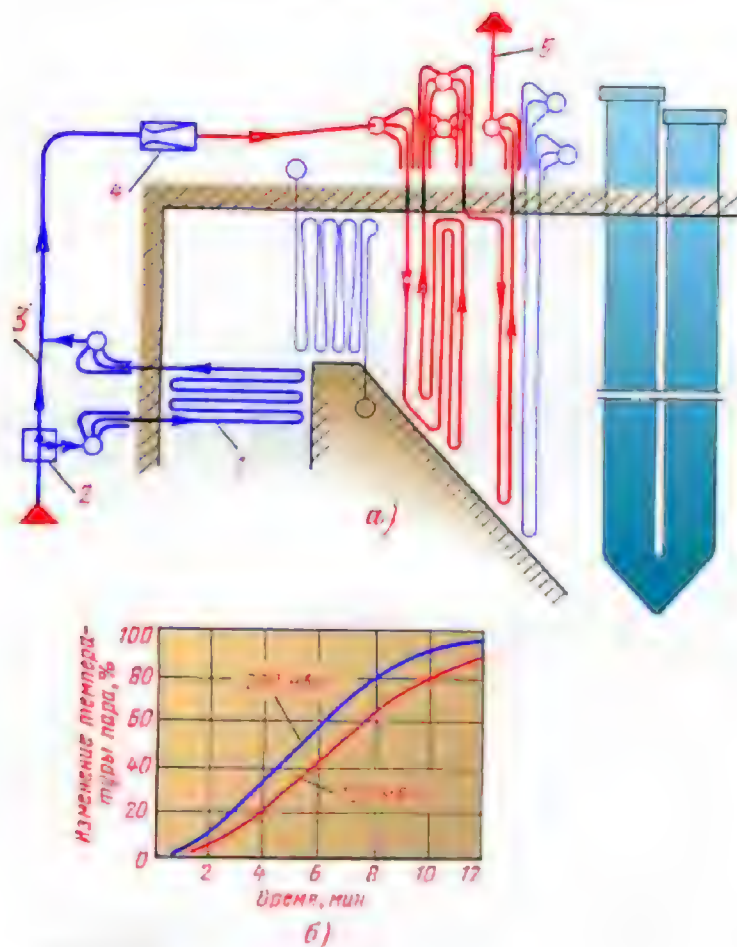


Рис. 33

а – схема левой части пароперегревателя (элементы первичного пароперегревателя изображены тонкими линиями, а промежуточного – жирными линиями); *б* – изменение температуры пара на выходе из промежуточного пароперегревателя при быстром изменении подачи пара через регулировочную поверхность нагрева (в процентах от полного изменения температуры). 1 – регулировочная поверхность нагрева; 2 – распределительный клапан; 3 – шунтирующий трубопровод; 4 – аварийный впрыск воды перед промежуточным пароперегревателем; 5 – выход пара из промежуточного пароперегревателя

Схемы включения пароперегревателя

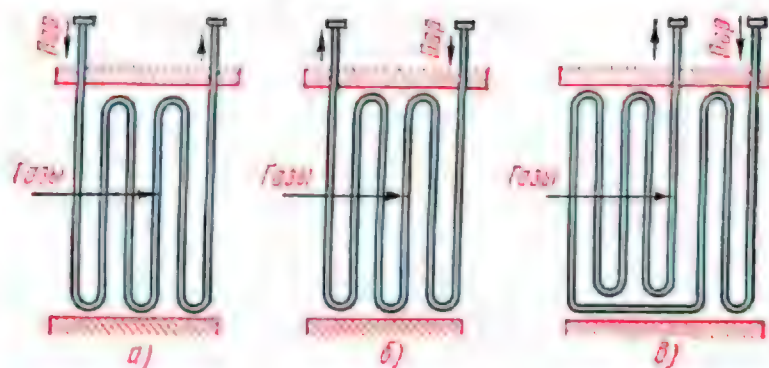


Рис. 34

a – прямоточная; *б* – противоточная; *в* – смешанная

Общий вид конвективного вертикального пароперегревателя котла средней мощности представлена на рис. 35.

Конвективный вертикальный пароперегреватель

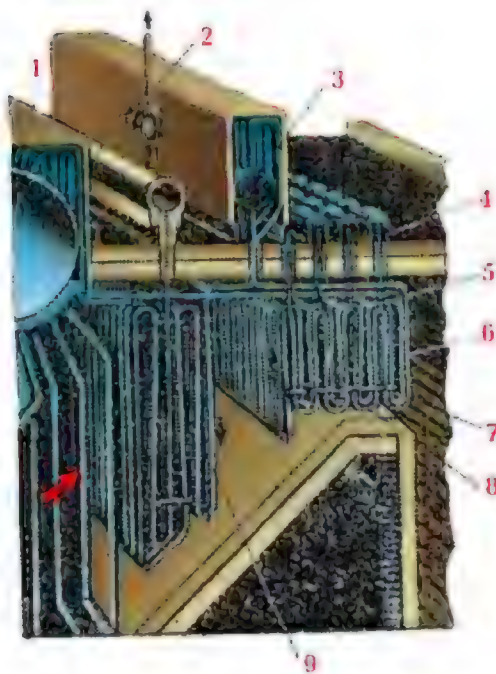


Рис. 35

1 – барабан котла; 2 – камера перегретого пара; 3 – промежуточная камера, выполняющая роль регулятора перегрева пара; 4 – балка для крепления пароперегревателя; 5 – подвеска; 6 – змеевики первой ступени; 7 – дистанционная планка; 8 – дистанционная гребенка; 9 – змеевики второй ступени

Насыщенный пар поступает из барабана 1 котла в змеевики первой ступени 6 пароперегревателя, включенные по промывочной схеме, нагревается в них и направляется в регулятор перегрева 3. Перерыв пара до заданной температуры происходит в змеевиках второй ступени 9 пароперегревателя, включенных по смешанной схеме.

Вверху змеевики крепятся путем подвешивания их к балкам 4 потолочного перекрытия котла, а внизу они имеют необходимые дистанционные крепления 7, 8.

К промежуточной камере (коллектору) (пароохладителю) и выходному коллектору перегретого пара змеевики присоединяют сваркой.

Камеры 2, 3 пароперегревателя изготавливают из стальных труб диаметром 133 мм, а змеевики из стальных труб диаметром 32, 38 или 42 мм с толщиной стенки $3 \div 3,5$ мм.

Материалом для труб змеевиков и камер (коллекторов) служит углеродистая качественная сталь марок 10 или 20.

В некоторых случаях последним по ходу пара змеевики изготавливают из легированных сталей 12ХМ, 15Х1МФ и др.

2.5.2. Регулирование температуры пара при работе котла

Кратковременное регулирование.

В котлах с естественной циркуляцией воды температуру перегретого пара иногда регулируют изменением разрежения в топочной камере.

Если температуры перегретого пара недостаточна, машинист «подтягивает» факел вверх, т.е. не изменяя работы дутьевых вентиляторов, несколько больше нагружает дымосос и соответственно увеличивает разрежение в топке.

Действие такого способа регулирования основано на том, что с возрастанием разрежения увеличивается присос в топочную камеру наружного воздуха, который как более холодный и имеющий более высокую плотность опускается вниз, отесняя факел кверху.

Соответственно смещается вверх зона окончания горения топлива и возрастает температура вверху топки. Увеличивается и температура пара.

При чрезмерно высокой температуре перегретого пара машинист уменьшает нагрузку дымососа, временно допуская даже положительное давление дымовых газов в верхней части котла и выбиванию газов наружу через неплотности.

Регулировать температуру перегретого пара изменением разрежения в топочной камере можно быстро и четко.

В этом основное достоинство такого способа регулирования.

Но регулировать температуру пара таким способом допустимо лишь кратковременно в момент быстрого изменения режима работы котла.

Иногда применяют другой метод режимного регулирования. Он основан на том, что с увеличением коэффициента избытка воздуха возрастает количество дымовых газов, омывающих конвективную часть пароперегревателя. Соответственно растет скорость газов, вследствие чего увеличивается количество тепла, которое дымовые газы передают конвективной части пароперегревателя. Например, для отдельных котлов повышение коэффициента избытка воздуха с 1,29 до 1,35 приводит к возрастанию температуры перегретого пара на 15 °С.

При таком регулировании изменяют нагрузки не только дымососов, но и дутьевых вентиляторов.

Регулирование действует четко и быстро, но также должно рассматриваться как кратковременное, вынужденное мероприятие.

Длительная работа при слишком большом или чрезмерно малом избытке воздуха в топке не допускается.

Влияние изменения давления.

У всех котлов с естественной циркуляцией воды температура перегретого пара повышается в период быстрого возрастания давления.

Во время быстрого снижения давления температура пара уменьшается. Изменение температуры оказывается тем больше, чем быстрее изменяется давление в котле.

Объяснить это можно следующим образом.

Пусть, например, барабанный котел высокого давления работает с постоянной нагрузкой при неизменном давлении пара. При этом на испарение воды затрачивается около половины всего тепла, которое передается воде и пару от дымовых газов. Сообразно с этим рассчитаны все поверхности нагрева пароперегревателя.

Если же на испарение воды затрачивается иная часть передаваемого тепла, то температура пара соответственно изменяется.

В период быстрого повышения давления часть тепла расходуется на дополнительный подогрев котловой воды до повышающейся в это время температуры кипения. Например, при повышении давления с 80 до 100 кгс/см² температура кипения увеличивается с 295 до 310 °С, из-за чего вся котловая вода нагревается дополнительно на 15 °С. Совместно с водой нагреваются барабаны, трубы и коллекторы котла, а также другие элементы.

Затрата на все это дополнительного количества тепла приводит к временному уменьшению парообразования, и на испарение воды временно расходуется меньшая доля перегретого тепла. Возникает некоторое несоответствие между количеством дымовых газов, омывающих пароперегреватель, и количеством пара, который нагревается в нем. Каждому килограмму пара передается больше тепла, чем при работе котла с постоянным давлением, и каждый килограмм пара нагревается в пароперегревателе до более высокой температуры.

Чем быстрее повышается давление, тем в большей степени происходит перераспределение тепла.

Таким образом, возрастание температуры перегретого пара тем больше, чем резче повышается давление.

Такие же закономерности обуславливают снижение температуры пара при уменьшении давления в котле.

Влияние изменения нагрузки котла.

У котлов с естественной циркуляцией воды, не имеющих радиационной части пароперегревателя, температура перегретого пара, как правило, уменьшается со снижением нагрузки и возрастает при ее повышении.

По иному изменяется температура пара в радиационной части пароперегревателя. Суммарное количество воспринимаемого тепла определяется здесь

температурой факела, которая сравнительно мало зависит от паропроизводительности котла.

При малой нагрузке получаемое тепло распределяется в меньшем количестве пара.

Вследствие того при малой нагрузке каждый килограмм пара получает больше тепла и температура пара на выходе из радиационной части пароперегревателя оказывается наиболее высокой при пониженной паропроизводительности котельного агрегата.

Влияние нагрузки на конечную температуру пара определяется тем, какую часть тепла пар получает путем радиации и какую – с помощью конвекции.

У многих котлов с естественной циркуляцией воды при каждом изменении нагрузки приходится регулировать температуру перегретого пара, не допуская ее отклонения от требуемого значения.

Такое регулирование производят сравнительно просто вручную, если пар проходит через пароперегреватель одним потоком или двумя независимыми потоками с отдельным регулированием.

Однако регулирование вручную температуры перегретого пара затруднительно, если, например, в первичном пароперегревателе имеются четыре отдельных паровых потока и если, кроме того, приходится регулировать и температуру пара в двух отдельных потоках промежуточного пароперегревателя.

В таких котлах должны работать все имеющиеся автоматические регуляторы температуры пара.

Кроме того необходима автоматическая регистрация температуры пара в каждом потоке, чем обеспечивается контроль за деятельностью машинистов котлов.

Машинистам пылеугольных котлов со значительной радиационной частью пароперегревателя необходимо следить за тем, чтобы при снижении нагрузки котла промежуточная температура пара не превышала допустимого предела.

Факторы, влияющие на температуру пара в барабанном котле.

1. Изменение температуры питательной воды. С понижением температуры питательной воды на $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ перегрев пара возрастет примерно на $5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Пусть, например, котел рассчитан на питание с температурой $230\text{ }^{\circ}\text{C}$. Если в него подавать воду с температурой $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, то в котле эта вода должна дополнительно подогреваться со 150 до $230\text{ }^{\circ}\text{C}$, для чего требуется дополнительное топливо. При этом пароперегреватель начинает обогреваться увеличенным количеством газов и перегрев пара соответственно возрастает.

2. Изменение влажности топлива. При снижении влажности твердого топлива температура перегретого пара снижается, а с повышением влажности – возрастает.

Это объясняется прежде всего тем, что нагретые водяные пары активно излучают тепло на трубы пароперегревателя и, в частности, на трубы его конвективной части. Во-первых, при возрастании влажности топлива увеличива-

ется количество дымовых газов, омывающих ширмы и конвективную часть пароперегревателя, что приводит к увеличению количества отдаваемого газами тепла.

То же самое происходит и на котлах сжигающих мазут при паровом его распыле.

3. Температура перегретого пара зависит не только от влажности, но и от других свойств топлива, в частности от степени черноты (прозрачности) факела в топке.

При сжигании газообразного топлива температура пара зависит от содержания в нем балластных негорючих составляющих.

2.5.3. Устройства для регулирования температуры пара

Впрыскивающие пароохладители. Современные котлы с естественной циркуляцией обычно рассчитывают таким образом, чтобы при работе с полной нагрузкой первичный пар был нагрет на $10 \div 20$ °С выше необходимой температуры. Снижение его температуры до температуры до требуемого значения производства обычно в впрыскивающих пароохладителях, которые, как правило, устанавливают в промежуточных коллекторах пароохладителя.

Во всех конструкциях впрыскиваемая вода разбрызгивается внутри рубашки, замещающей корпус от резкого и неравномерного охлаждения (рис. 36).

Без такой рубашки происходило бы растрескивание корпуса под воздействием многократных изменений температуры при падении на металл и испарении капель воды.

Рубашка в отличие от корпуса не подвержена напряжению от внутреннего давления, и ее растрескивание происходит очень медленно. К тому же рубашка может длительное время работать и с трещинами.

Впрыск воды производится либо через форсунку упрощенной конструкции, либо через большое количество отверстий малого диаметра, расположенных в узком сечении сопла.

Отверстия для впрыска могут быть защиты гратом или другими твердыми частицами, уносимыми водой из трубопроводов. Улавливание таких частиц производится в ловушке.

Поверхностный пароохладитель. Представляет собой систему стальных змеевиков диаметром 25 или 32 мм, в стальном корпусе (рис. 37) и образующих два контура: левый и правый.

По змеевикам прокачивается питательная вода в количестве, необходимом для охлаждения пара на заданную величину. Пар омывает змеевики с наружной стороны.

Инерционность пароохладителя. Если, например, температура перегретого пара чрезмерно возросла, то машинист котла увеличивает подачу воды к пароохладителю. Но перегрев пара уменьшается не сразу, а в течении 1–3 мин.

Впрыскивающие пароохладители

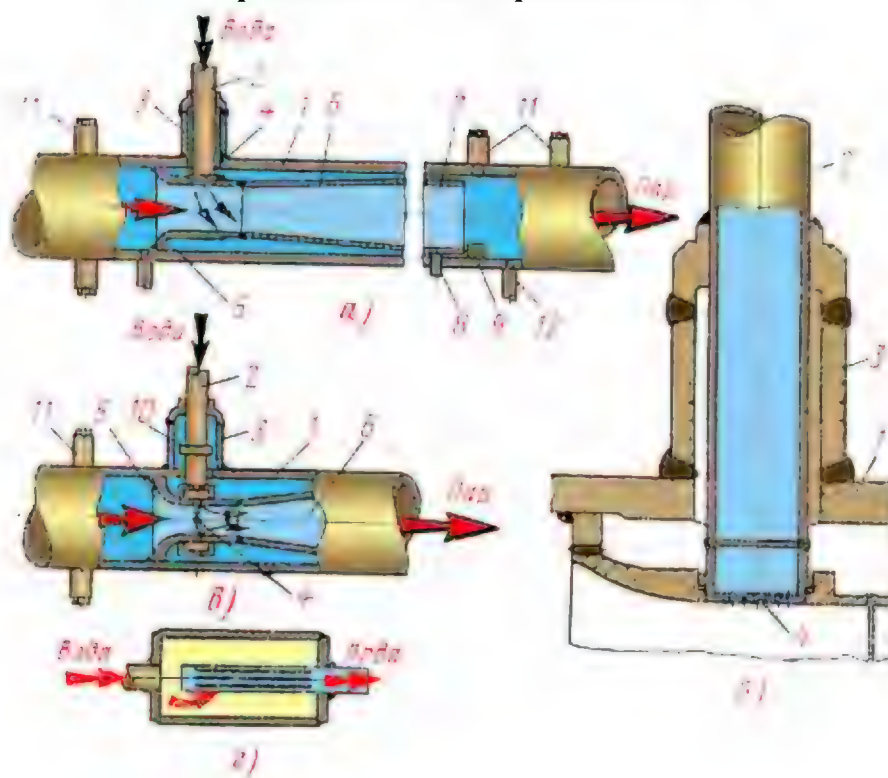


Рис. 36

а и *б* – общий вид пароохладителя и его впрыскивающее устройство при одностороннем вводе воды в пар; *в* – общий вид пароохладителя с кольцевым вводом воды в пар; *г* – ловушка твердых частиц; 1 – корпус пароохладителя; 2 – водоподводящая труба; 3 – защитный патрубок водоподводящей трубы; 4 – отверстия для распыления воды в паре; 5 – сопло; 6 – диффузор; 7 – цилиндрическая часть защитной рубашки; 8 – одна из шпилек, удерживающих защитную рубашку в заданном положении; 9 – упор; 10 – компенсатор на водяной линии; 11 – лючок для измерительного прибора; 12 – дренаж, открываемый при остановке котла

Это происходит потому, что при уменьшении температуры пара должна соответственно понизиться температура металла части пароперегревателя, находящейся по пути пара за пароохладителем.

Чем больше вес этого металла, тем медленнее происходит изменение конечной температуры пара.

Наиболее велико запаздывание действия пароохладителей установленных в пароперегревателе первыми по ходу пара.

Поверхностные пароохладители применялись и работают на старых котлах. Они имеют еще большую инерционность. Конечная температура пара изменяется при регулировании не раньше чем через 5÷6 минут.

В современных котлах такие пароохладители не устанавливают.

Запаздывание действия пароохладителя усложняет автоматическое регулирование температуры перегретого пара. При ручном регулировании от машиниста котла требуется учет всех условий работы котла.

Он должен знать, сколько примерно воды должно идти на пароохладитель при всех возможных режимах эксплуатации.

Регулятор перегрева

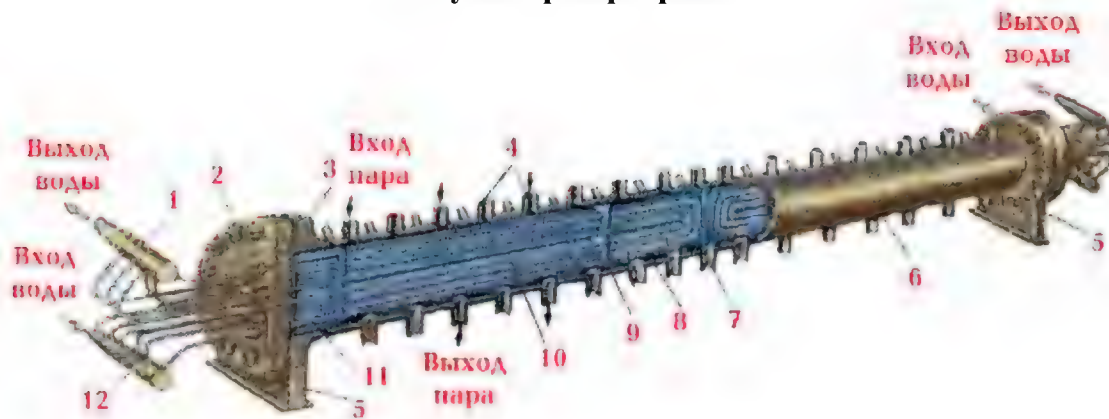


Рис. 37

1 – камера выхода воды; 2 – штуцер; 3 – фланец с крышкой; 4 – подводящие пар трубы; 5 – опоры; 6 – корпус; 7 – отводящие пар трубы; 8 – металлическое корыто; 9 – дистанционная доска; 10 – змеевики; 11 – кожух; 12 – камера входа воды

Если температуру перегретого пара регулируют вручную, то при неустановившемся режиме работы котла возможны кратковременные, но значительные отклонения этой температуры от требуемого значения.

Такие отклонения лишь через 2–5 минут вызывают соответствующие изменения температуры пара перед турбиной. Иногда, например, температура пара на котле возрастает до недопустимого значения, но через 1–2 мин. Уменьшается до нормального.

При этом температура пара перед турбиной возрастает гораздо меньше, чем за котлом. Часть тепла при кратковременном повышении температуры пара затрачивается на дополнительный нагрев паропровода.

Иногда по каким-либо причинам температура перегретого пара сохраняется повышенной в течении $5 \div 10$ мин., а затем снижается до требуемого значения.

Через $2 \div 3$ мин. После этого может быть получено сообщение машиниста турбины о том, что по его приборам температура пара продолжает оставаться недопустимой. Опытный машинист котла знает, что это происходит вследствие тепловой инерции паропроводов, и будет выжидать, пока температура пара перед турбиной выравнивается без его вмешательства.

Неопытный же работник начинает опять регулировать температуру, в результате чего снова разлаживается работа котла.

Одно и то же изменение количества впрыскиваемой воды приводит к значительно большему изменению температуры пара, если котел работает с низкой нагрузкой, т.е. когда на 1 кг пара приходится больше охлажденной воды.

При подаче воды в первый по ходу пара пароохладитель происходит более медленное изменение температуры пара на выходе из котла и это изменение температуры оказывается менее значительным.

Последнее объясняется тем, что передача тепла от дымовых газов пару в змеевиках за пароохладителем несколько ускоряется в случае, когда температура пара ниже, и замедляется, когда пар имеет более высокую температуру.

Подача воды для впрыска в пар. В практике известны случаи длительной надежной работы барабанных котлов; у которых в пар почти непрерывно впрыскивалась вода с содержанием в несколько десятков мг/л. Находящиеся в этой воде вещества не оседали на стенках труб пароперегревателя, но часть их при снижении давления в турбине отлагалась на ее рабочих лопатках. Турбины часто приходилось подвергать промывке.

Во избежание этого рекомендуется впрыскивать в пар конденсат или обессоленную воду с ничтожным содержанием растворенных солей.

У многих котлов с естественной циркуляцией воды конденсат для впрыска в пар получают в специальной установке собственного конденсата.

Упрощенная схема питательных линий и линий для впрыска воды в пар котла ТП-158

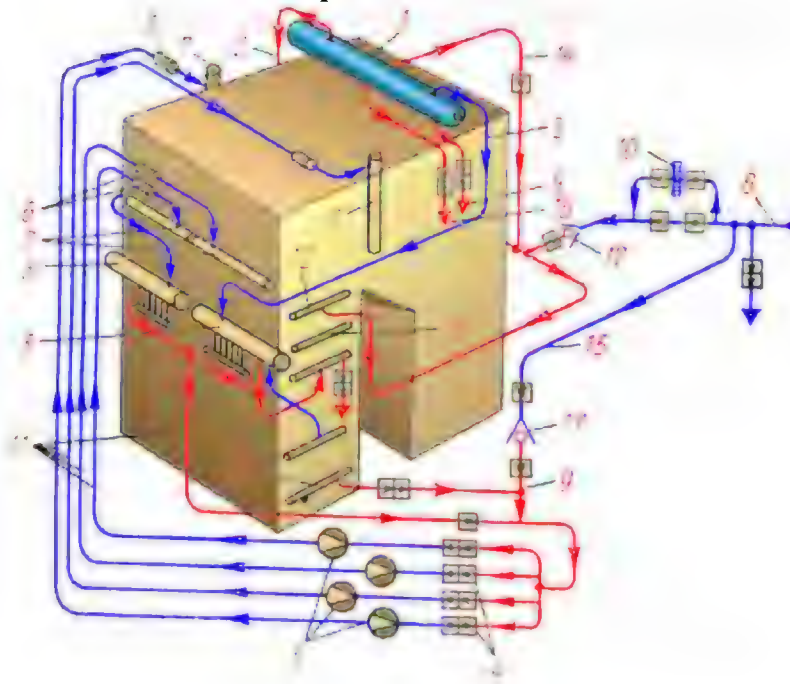


Рис. 38

1 – барабан; 2 – линия подачи насыщенного пара из барабана в конденсатор; 3 – конденсатор; 4 – узел регулирования подачи воды к впрыскивающим пароохладителям; 5 – измерительный участок для определения расхода воды на впрыск; 6 – ловушка для грата; 7 – коллектор пароохладителя; 8 – питательная линия; 9 – дренаж; 10 – дроссельная шайба; 11 – линия подачи конденсата на впрыск; 12 – нижний коллектор подвесных труб; 13 – коллекторы экономайзера; 14 – линия рециркуляции воды в экономайзер; 15 – линия подачи питательной воды в узел 4 регулирования впрыском; 16 – линия аварийного сброса воды из барабана; 17 – обратный клапан

Через конденсатор проходит вся питательная вода и охлаждает некоторое количество насыщенного пара, отводимого из барабана (рис. 38). Полу-

ченный из пара конденсат по трубам поступает в узел регулирования и оттуда – в пароохладитель.

Конденсатор обычно представляет собой горизонтальный теплообменник (рис. 39). Охлаждающая вода поступает в трубную систему, а насыщенный пар в межтрубное пространство, где превращается в воду и, собираясь в нижней части основного отсека, дополнительно охлаждается на несколько градусов ниже температуры насыщения.

Схема конденсатора пароохладительной установки котла

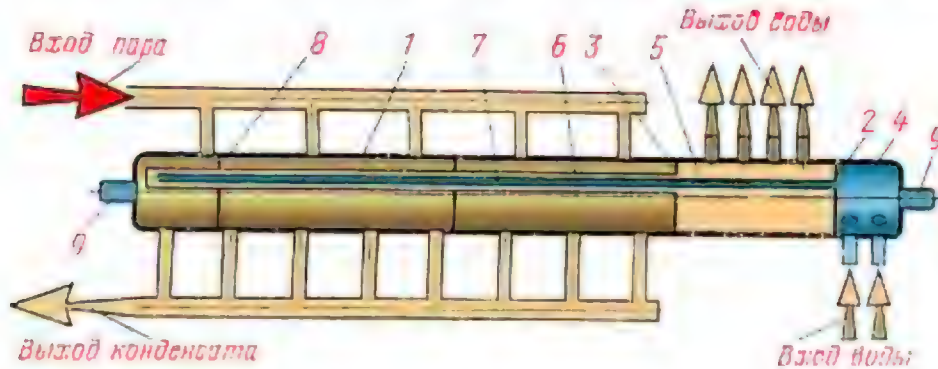


Рис. 39

1 – основной отсек; 2 и 3 – трубные доски; 4 – входной отсек; 5 – выходной отсек; 6 и 7 – наружная и концентрическая внутренняя трубы (показана одна из 41 пары труб); 8 – дистанционирующая перегородка; 9 – торцевой лючок

При движении основного количества пара в пароперегревателе давление его снижается. Эта разность давления обуславливает движение пара и конденсата по трубам для впрыска воды в пар.

2.5.4. Работа пароперегревателя при растопке котла

За немногим исключением охлаждение труб пароперегревателя при растопке производится паром, образующимся в самом растапливаемом котле.

Такого охлаждения, как показал опыт, достаточно даже для радиационной части пароперегревателя, расположенной на стенах топочной камеры.

Временное возрастание температуры пара при растопке котлов. Такое возрастание объясняется различными причинами.

У барабанных котлов, как уже отмечалось, при растопке, как и во время работы под нагрузкой температура пара возрастает в периоды, когда увеличивается его давление.

Это также объясняется тем, что при увеличении давления часть тепла топливо затрачивается на временный подогрев воды и самого котла до повышающейся температуры кипения.

В этот период времени уменьшается испарение и каждый килограмм пара больше нагревается в пароперегревателе.

Наибольшее распространение получил режим расточки, при котором давление пара повышается плавно и медленно.

Тогда температура пара возрастает по сравнению с нормальной незначительно. При растопке котла следует избегать резкого увеличения подачи топлива, так как это приводит к быстрому повышению давления и соответственному росту температуры перегретого пара.

В начальный период растопки через пароперегреватель проходит ничтожное количество пара.

В трубах радиационной части пароперегревателя этот пар охлаждается от холодных стен обмуровки и может превратившись в конденсат, накапливаться в нижних коллекторах и нижней части вертикальных труб. В отдельных трубах образуется водяной затвор, движение пара в них прекращается и их температура резко возрастает (рис. 40).

Образование водяного затвора в вертикальной радиационной панели пароперегревателя при растопке котла

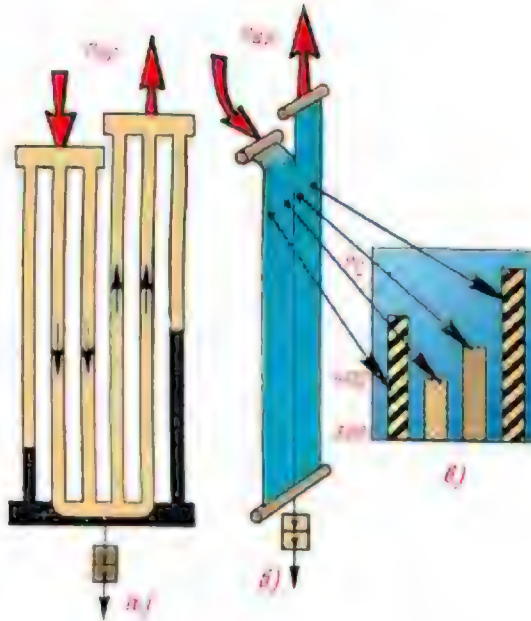


Рис. 40

а – упрощенная схема водяного затвора (заполненный водой объем условно изображен затемненным); *б* – вид панели пароперегревателя; *в* – температура отдельных труб панели при растопке котла (затемнены столбики, характеризующие температуру труб с водяным затвором)

Рекомендуется оставлять приоткрытыми линии продувки радиационной части пароперегревателя до повышения в нем давления примерно до $3 \div 5$ кгс/см² и непрерывно следить за температурой пара в трубах. При необходимости снижения температуры полностью открыть основную продувку пароперегревателя и отрегулировать факел так, чтобы отдалить его от труб.

В начальный период растопки мазут или газ выходит в топку через небольшое количество горелок и образует перед каждой из этих горелок отдельный факел. Находящиеся вблизи горелок трубы радиационной части пароперегревателя нагреваются при этом по разному. Если факел плохо отрегулирован

и находится в непосредственной близости от труб, он может нагреть пар в этих трубах до чрезмерно высокой температуры.

Для снижения температуры пара в этих трубах рекомендуется подавать дополнительный воздух в горелки, расположенные над работающими.

При быстром возрастании паропроизводительности котельного агрегата после растопки может возникнуть временное затягивание факела вверх и соответствующее повышение температуры пара.

Это происходит, например, в тех случаях, когда топка еще недостаточно нагрелась и тепла топочных газов не хватает для своевременного воспламенения угля. В других случаях затягивание факела вверх объясняется тем, что подача топлива растет быстрее, чем поступление в топку необходимого для горения воздуха.

Повышать нагрузку котла после растопки рекомендуется осторожно и постепенно.

Основные режимы растопки и растопка котла из холодного состояния должны быть подробно описаны для каждой станции, районной или производственно-отопительной котельной в «инструкции по эксплуатации котлов» с учетом состава, конструкции котлов, компоновки и маркировки оборудования и трубопроводов, с учетом местных условий и квалификации обслуживающего персонала.

Вопросы для самоконтроля:

1. Какие конструкции пароперегревателей вам известны?
2. Схемы движения пара в пароперегревателе?
3. Что такое температурный напор?
4. Способы регулирования температуры пара?
5. Что влияет на изменение температуры перегретого пара?
6. Устройства для регулирования температуры пара?
7. Какие условия работы пароперегревателя при растопке котла?



2.6. Экономайзеры, воздухоподогреватели

2.6.1. Схемы хвостовых поверхностей нагрева

Хвостовыми поверхностями нагрева называют расположенные в котле последними по пути дымовых газов.

Они омываются газами сравнительно низкой температуры. Такими поверхностями являются экономайзер и воздухоподогреватель.

Применяют две основные схемы взаимного расположения экономайзера и воздухоподогревателя.

1. Последовательное размещение, при котором первым по ходу газов находится экономайзер, а за ним – воздухоподогреватель (рис. 16).

2. Двухъярусное (двухступенчатое в рассечку) расположение при котором дымовые газы сначала проходят через верхнюю часть экономайзера и верхнюю часть воздухоподогревателя, а затем через их нижние части (рис.41).

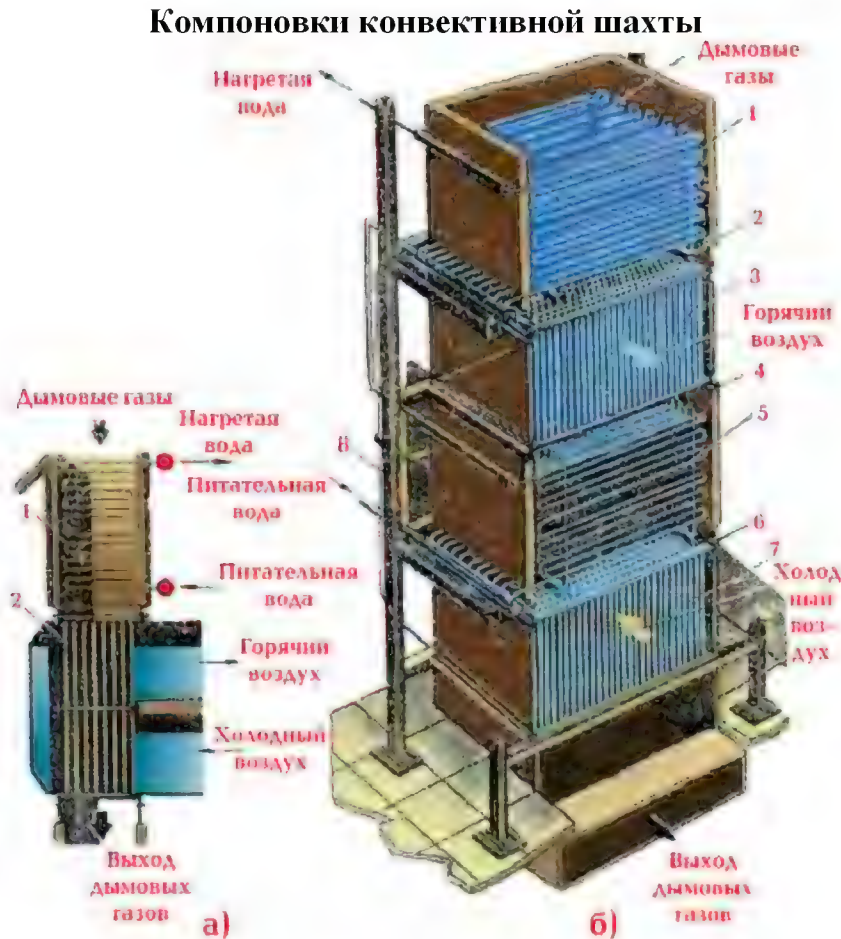


Рис. 41

а – одноступенчатая: 1 – водяной экономайзер; 2 – воздухоподогреватель; *б* – двухступенчатая: 1 – водяной экономайзер второй ступени; 2 – опорная охлаждаемая балка водяного экономайзера; 3 – воздухоподогреватель второй ступени; 4 – опорная балка воздухоподогревателя; 5 – водной экономайзер первой ступени; 6 – компенсатор; 7 – воздухоподогреватель первой ступени; 8 – колонна каркаса

Двухступенчатое размещение хвостовых поверхностей нагрева несколько усложняет конструкцию котла.

Появляются длинные перепускные короба для воздуха, дополнительные коллекторы и перепускные трубы экономайзера.

Однако при таком расположении можно повысить температуру воздуха и тем улучшить условия подсушки и воспламенения топлива. Такую схему почти никогда не применяют в газомазутных котлах и считают целесообразной лишь при сжигании антрацитов и тощих углей.

В энергоблоках с промежуточным перегревом пара дымовые газы настолько охлаждаются в обоих пароперегревателях, что применение двухъярусной схемы становится затруднительным.

В котлах сверхкритического давления хвостовые поверхности нагрева размещены последовательно.

2.6.2. Экономайзер и питание его водой

Конструкция. Почти у всех котлов экономайзер имеет вид горизонтальных пакетов с горизонтальными коллекторами. Вода обычно движется в трубах от нижних коллекторов к верхним. Такие экономайзеры называют кипящими, поскольку надежность их работы не снижается в случае, если в них начинается кипение воды.

Во избежание образования паровых «пробок» в трубах не должно быть участков, где вода двигалась бы сверху вниз.

У большинства котлов поверхность нагрева экономайзера состоит из труб с наружным диаметром 28, 32, 42 мм из стали марки 20. Трубы размещают в шахматном порядке. Многовитковые змеевики разделяют по высоте на отдельные пакеты, между которыми имеются проемы, облегчающие очистку экономайзеров и ремонтные работы.

Кроме того, в проемах между трубными пакетами происходит выравнивание газового потока и улучшается омывание труб дымовыми газами.

Скорость входа воды в змеевики экономайзера при полной нагрузке равна у современных котлов примерно 1 м/сек. Если скорость воды очень мала, то вода распределяется по змеевикам неравномерно и может останавливаться, что ведет к образованию свободного уровня или паровых пробок в трубах.

Схемы питания котла водой

К котлам старых типов питательная вода подводится по двум параллельным линиям, имеющим по комплекту запорной и регулирующей арматуры.

Обычно регулирование подачи воды производится по одной из этих линий, а по другой линии вода движется с постоянной скоростью.

В современные котлы питательная вода поступает по одной линии, имеющей ответвления (байпасы) меньшего диаметра для топочного регулирования подачи воды в периоды растопки и работы с низкой нагрузкой (растопочная линия).

В барабанных котлах дроссель на этой линии обеспечивает надежное действие арматуры в период растопки, когда очень велика разность давлений в питательной линии и в котле.

На питательных линиях всех котлов устанавливают обязательно обратные клапаны для предотвращения движения воды из котла в питательные трубопроводы в случае аварийного снижения давления в питательных магистралях.

Ребристый чугунный экономайзер

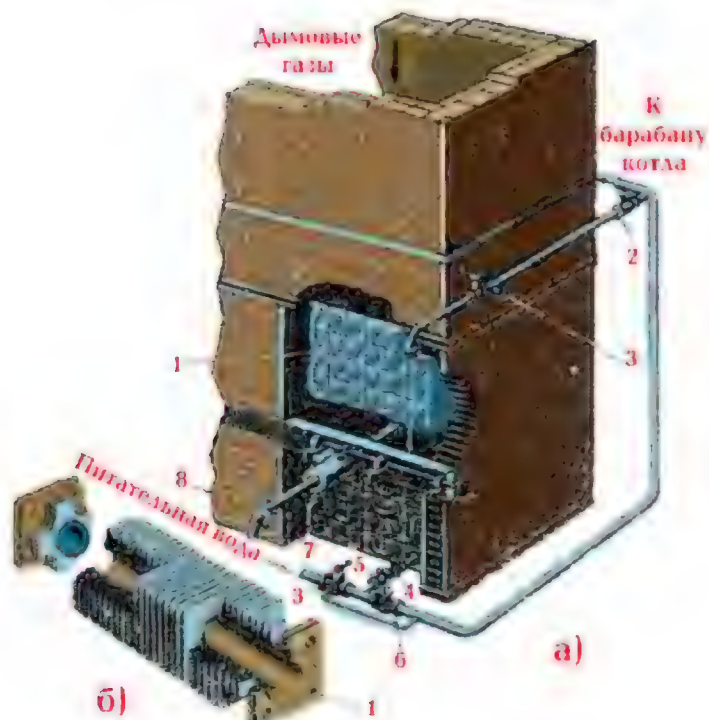


Рис. 42

a – общий вид; *б* – ребристая труба; 1 – ребристая труба; 2, 6 – вентили для питания котла водой через или мимо экономайзера; 3 – предохранительный клапан; 4 – вентиль на входе воды в экономайзер; 5 – обратный клапан; 7 – соединительный калач; 8 – обдувочное устройство

Секция экономайзера



Рис. 43

1 – камера подвода воды; 2 – камера выхода воды; 3 – опорные стойки; 4 – змеевики; 5 – опорная балка

Растопочная циркуляция воды. У большинства котлов с естественной циркуляцией воды имеется линия, соединяющая барабан с входными (нижними) коллекторами экономайзера (линия рециркуляции).

У котлов со ступенчатым испарением эту линию включают в чистый отсек барабана.

При растопках таких котлов питание их водой производится не непрерывно, а периодически и кратковременно. Если бы в периоды отсутствия питания не было движения воды в экономайзере, неподвижная вода могла бы нагреваться в трубах до кипения, после чего в горизонтальных трубах возникли бы паровые «пробки» и стенки труб чрезмерно перегревались.

При открытии линии рециркуляции в этот период начинается медленное движение воды из барабана в нижние коллекторы экономайзера, а затем через экономайзер опять в барабан.

Вода двигается самотеком вследствие того, что при нагревании в экономайзере ее плотность становится меньше чем в необогреваемой опускной трубе.

Если не закрывать линию рециркуляции на работающем котле, то часть воды пойдет в барабан не по змеевикам экономайзера, а по более короткому пути – по линии рециркуляции.

В результате – выход из строя экономайзера от неудовлетворительного охлаждения змеевиков, он начинает работать в режиме пароперегревателя.

Открытие и закрытие вентиля на линии рециркуляции нужно производить непосредственно перед началом и после прекращения питания котла. Установка по рециркуляционной линии автоматически действующего обратного клапана вместо запорного вентиля нежелательна.

Обратный клапан может не открываться под действием очень слабого напора циркулирующей в экономайзере воды.

Неполадки в питательных линиях.

При неправильном открытии задвижек в период пуска котла в работу могут возникнуть гидравлические удары в питательной линии. Открывать задвижки и клапаны нужны последовательно, начиная от ближайшего к котлу. В этом случае находящийся в трубах воздух беспрепятственно проходит с водой.

Гидравлические удары возникают при открытии арматуры в обратном порядке.

В начальный период эксплуатации новых котлов иногда возникает вибрация (дрожание или раскачивание) питательных и паровых магистралей, а изредка водоопускных труб экранов и других трубопроводов.

Постепенное увеличение колебаний может привести к разрушению находящегося под давлением оборудования.

При появлении вибрации трубопровода нужно немедленно заклинить раскачивающийся участок временными подкладками, а затем укрепить его дополнительными опорами или пружинными подвесками. Если по каким-либо причинам подкладки сразу нельзя установить, а вибрация увеличивается, необходимо аварийно остановить котельный агрегат для устранения вибрации.

2.6.3. Воздухоподогреватели

По принципу действия различают трубчатые и регенеративные (вращающиеся) воздухоподогреватели.

Котлы малой производительности оборудуют иногда чугунными воздухоподогревателями, но из-за малого их применения конструкции их рассматривать не будем.

Трубчатый воздухоподогреватель. Его поверхность нагрева состоит из отдельных секций или кубов.

Каждая секция представляет собой пакет вертикальных труб, концы которых укрепляются в отверстиях горизонтальных трубных досок. Трубы наружным диаметром 51 или 40 мм расположены в шахматном порядке, внутри них движутся обычно сверху вниз дымовые газы, тепло которых передается воздуху, движущемуся между трубами (рис. 44, 45, 46).

Схемы двухъярусного трубчатого воздухоподогревателя

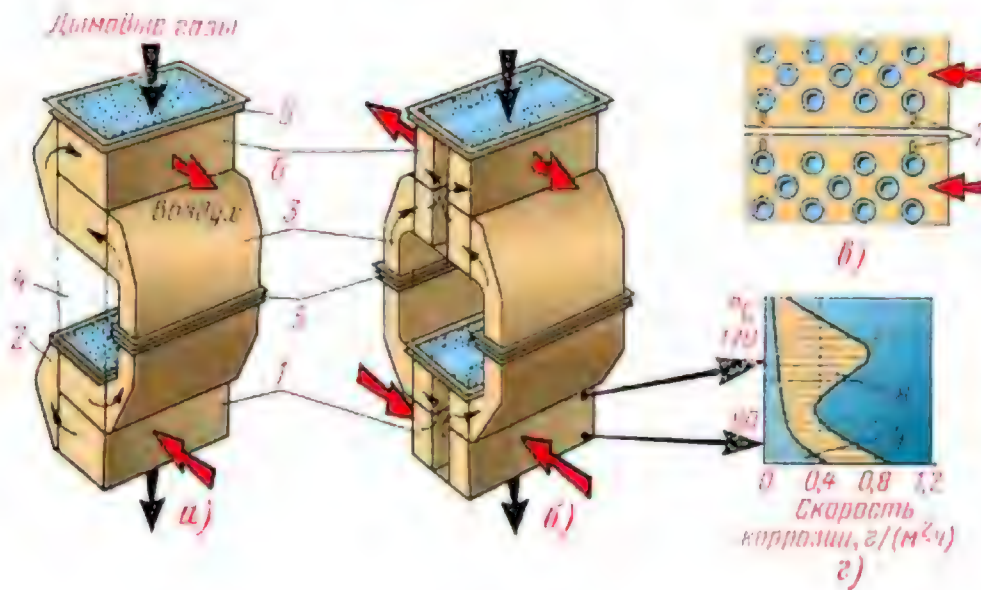


Рис. 44

а – однопоточная схема движения воздуха; б – двухпоточная схема; в – схема сопоставления двух секций, вид сверху; г – изменение температуры и скорости коррозии внутренней поверхности в нижней части воздухоподогревателя при работе котла на мазуте: 1 – нижние секции (кубы) воздухоподогревателя; 2 и 3 – перепускные короба для воздуха; 4 – место установки экономайзера; 5 – компенсатор; 6 – верхние секции; 7 – вертикальная стальная полоса, приваренная к трубе и тормозящая движение воздуха между секциями; 8 – при коэффициенте избытка воздуха в выходящих из топки газах от 1,20 до 1,25; 9 – при этом коэффициенте порядка 1,02

Схема действия аппарата регенеративного воздухоподогревателя

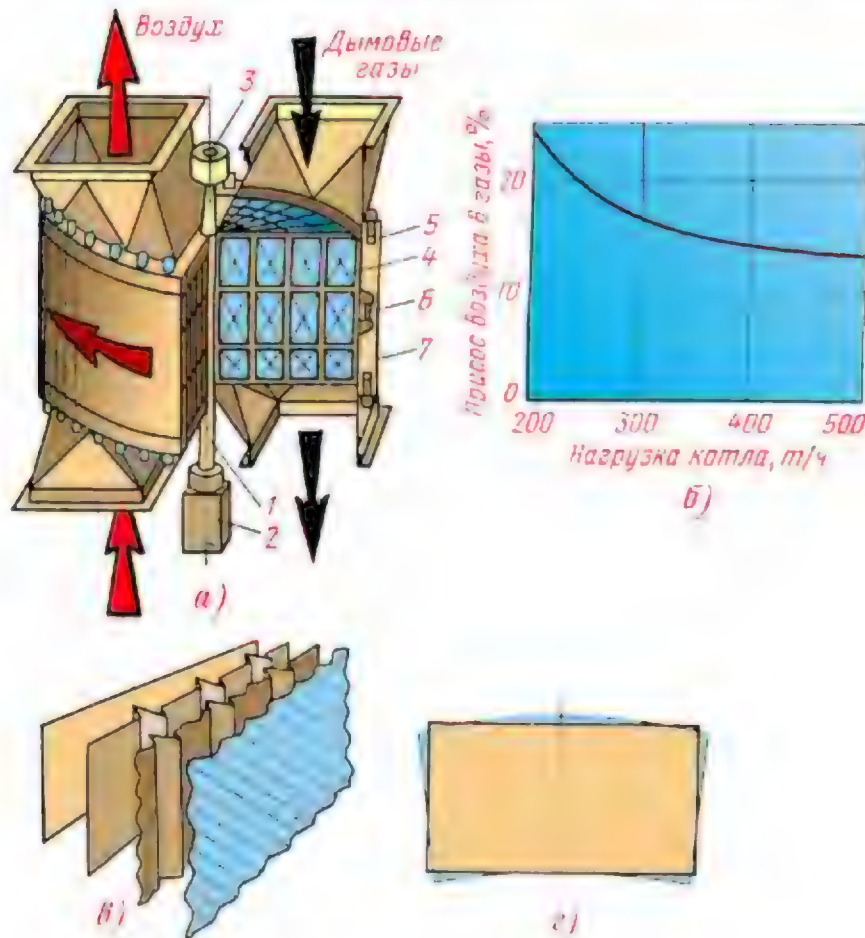


Рис. 45

а – вид аппарата (четвертая часть его условно отрезана); б – зависимость присоса воздуха в дымовые газы от нагрузки одного из котлов производительностью 500 т/ч тремя аппаратами РВВ-54М; в – вид отдельных пластин; г – изменение положения ротора при нагреве; 1 – вал; 2 и 3 – нижняя и верхняя опоры; 4 – секции ротора; 5 – верхнее периферийное уплотнение; 6 – цевка; 7 – кожух

По ширине котла обычно устанавливается несколько таких секций, над ними ставят второй ряд их, а иногда третий и четвертый. Из одного ряда секций в другой воздух перетекает по перепускным коробам.

Расширение воздухоподогревателя при его нагревании во время растопки котла воспринимается обычно горизонтальным компенсатором, расположенным над трубными секциями. При работе котла компенсатор находится в сжатом состоянии.

Боковые стены трубных секций нагреваются только воздухом и имеют меньшую температуру, чем трубы, внутри которых движутся нагретые дымовые газы.

Различие в тепловом удлинении труб и боковых стен невелико у секций высотой до 3 метров, поэтому секции (кубы) делают не больше этой высоты.

Если конструктивно необходима секция большей высоты, то кроме верхнего, устанавливают боковые компенсаторы, размещенные между боковыми стенами и верхними трубными досками.

Утечка воздуха в пространстве между соседними секциями предотвращается приваркой к крайним трубам вертикальных стальных полос (рис. 44, в).

Потеря напора воздуха при движении через воздухоподогреватель определяется в значительной мере числом рядов труб, которые пересекает воздушный поток.

Если поверхность нагрева воздухоподогревателя разделить на две части и через каждую из них направить половину нагреваемого воздуха (рис. 44, б), то по сравнению с однопоточным движением будет достигнуто значительное уменьшение потери напора воздуха. Такая схема получила широкое распространение, но наиболее крупные котлы оборудуют чаще всего воздухоподогревателем не трубчатого, а регенеративного типа.

Регенеративный воздухоподогреватель. Обычно устанавливают два или больше число включенных параллельно аппаратов. В каждом аппарате цилиндрический ротор медленно вращается вокруг вертикальной оси, внутри неподвижного стального корпуса.

Конструкционные схемы регенеративных трубчатых воздухоподогревателей в зависимости от $t_{г.в}$ и мощности агрегата

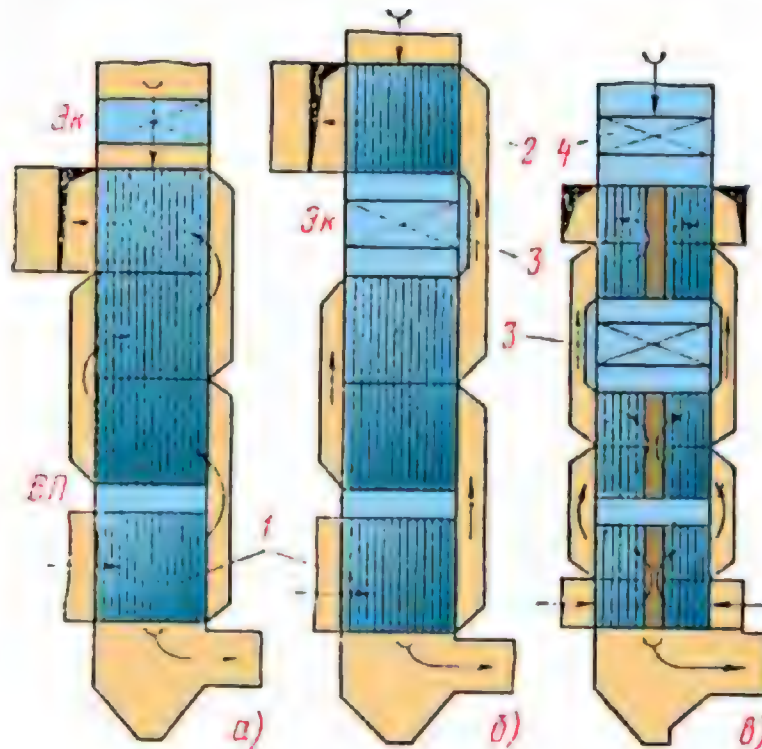


Рис. 46

1, 2 – холодный и горячий пакеты ВП; 3, 4 – первый и второй пакеты экономайзера по ходу питательной воды

Воздух и дымовые газы проходят через ротор вертикально в противоположных направлениях (рис. 45, а).

Ротор по сечению разделен глухими перегородками на отдельные секции. Поверхность нагрева, состоит из тонких вертикальных стальных пластин, часть которых изготавливают гофрированными. В щелях между пластинами движутся газы и воздух.

В газовом потоке пластины нагреваются, а затем, попадая в воздушный поток, отдают воздуху полученное от газов тепло.

Пуск в работу роторов регенеративного вращающегося воздухоподогревателя должен производиться до растопки котла. При остановке котла рекомендуется оставлять роторы в работе в течение $2\div 3$ часов после выключения дымососа, чтобы избежать перекосов при неравномерном остывании воздухоподогревателя.

2.6.4 Неполадки в работе экономайзеров и воздухоподогревателей

Присос наружного воздуха. Присос в газоходы наружного воздуха приводит к перегрузке дымососов и снижению температуры дымовых газов. Недостаточная тяга заставляет иногда ограничивать подачу в топку воздуха, из-за чего возрастает недожог топлива.

Основное количество воздуха засасывается в экономайзер в местах, в которых змеевики проходят через обмуровку. Поэтому систематически производят проверку плотности люков и уплотнения обмуровки.

В регенеративном воздухоподогревателе утечка воздуха и его присос в дымовые газы во многом зависит от тщательности регулирования уплотнений.

При снижении нагрузки котла количество проходящего через неплотности воздуха несколько сокращается, но в процентном отношении к воздуху, проходящему через воздухоподогреватель, присос воздуха увеличивается.

Величину присоса наружного воздуха проверяют газовым анализом.

Сернистая коррозия воздухоподогревателя.

При сгорании содержащейся в топливе серы возникает сернистый ангидрид, практически безвредный для воздухоподогревателя. Но если в зоне, где сгорает сера, имеется избыточный свободный кислород, то одновременно с сернистым ангидридом SO_2 возникает небольшое количество серного ангидрида SO_3 , который соединяясь с водяным паром, образует серную кислоту.

Содержащиеся в дымовых газах пары серной кислоты конденсируются на относительно холодных трубах или пластинах воздухоподогревателя. Жидкая серная кислота интенсивно разрушает металл.

Ее конденсация происходит при $135\div 140$ °С при сжигании углей и примерно 150 °С при сжигании сернистого мазута. Разрушается лишь небольшая по высоте часть труб или пластин в выходной (нижней) части воздухоподогревателя.

В пылеугольных котлах скорость коррозии воздухоподогревателя несколько меньше, чем при сжигании сернистого мазута, поскольку при горении последнего образуется обычно большое количество серного ангидрида.

В трубчатом воздухоподогревателе иногда приходится удалять трубы, в которых разрушен лишь небольшой участок.

Преимущество регенеративного воздухоподогревателя заключается в том, что в нем утечка воздуха мало зависит от коррозионного разрушения его пластин. В новом или недавно отремонтированном котле трубчатый воздухоподогреватель обычно намного плотнее регенеративного, но после продолжительной работы более плотный может оказаться регенеративный воздухоподогреватель.

Процесс коррозии несколько замедляется при увеличении температуры воздуха, поступающего в воздухоподогреватель.

Поэтому у большинства котлов имеется трубопровод рециркуляции воздуха, по которому часть воздуха (горячего) выходящего из воздухоподогревателя возвращается на всас дутьевого вентилятора для подмешивания к холодному воздуху (рис. 47). В широко применяемых калориферах воздух перед подачей его в воздухоподогреватель нагревается паром низкого давления с температурой $180 \div 200$ °С.

Схема движения дымовых газов и воздуха в котельной установке

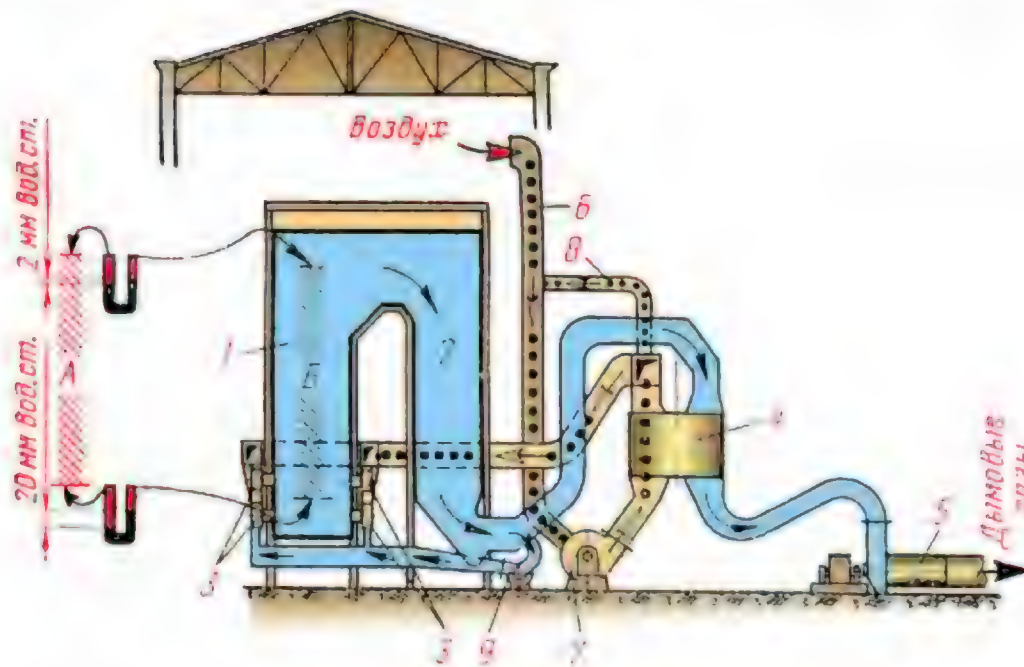


Рис. 47

1 – топка котла; 2 – конвективный газоход; 3 – газомазутные горелки; 4 – регенеративный воздухоподогреватель; 5 – дымосос осевого типа; 6 – всасывающий трубопровод дутьевого вентилятора; 8 – трубопровод рециркуляции горячего воздуха; 9 – дымосос рециркуляции дымовых газов

Излишний предварительный подогрев воздуха нежелателен, поскольку при этом ухудшается передача тепла в воздухоподогревателе, возрастает температура уходящих газов и снижается экономичность работы котла.

Наиболее распространен подогрев воздуха в калориферах $90 \div 110$ °С. При таких условиях коррозия значительно уменьшается, но не ликвидируется.

Вопрос о снижении коэффициента избытка воздуха при сжигании сернистых мазутов до предельно низких значений является в настоящее время одним из наиболее актуальных, так как решает проблему в корне

Дело в том, что при малых избытках воздуха мало и свободного кислорода, а мало кислорода ограничивается и переход SO_2 в SO_3 . Нет серного ангидрида – нет и серной кислоты которая губит воздухоподогреватели.

Срок работы воздухоподогревателей без замены их поверхностей нагрева удлиняют, изготовляя для их нижней части пластины большей толщины или трубы с более толстыми стенками.

На отдельных электростанциях работают регенеративные воздухоподогреватели с пластинами, защищенными от коррозии слоем эмали, а также с керамическими (фарфоровыми) поверхностями нагрева.

Данные длительной эксплуатации первых отечественных котлоагрегатов с эмалированной набивкой «холодного» слоя РВП (регенеративного воздухоподогревателя) при сжигании высокосернистого мазута и смеси его с природным газом свидетельствует о возможности повышения экономичности котла и увеличения «времени жизни» набивки за счет покрытия ее кислотостойкой эмалью.

Коррозия воздухоподогревателей замедляется при присадке в топлив (мазут) щелочей, нейтрализующих серную кислоту.

Например, электростанции Башкирэнерго имеют большой опыт работы по вводу в дымовые газы каустического магнезита фракции 0–43 мк с дозировкой $1,0 \div 1,15\%$.

Ввод такого магнезита в топку или газоход после котла приводит к понижению температуры точки росы со 145 до 70 °С.

2.6.5. Золоулавливающие устройства

Вопрос выбора и расчета золоулавливающих устройств, применяемых в отечественной котельной практике является достаточно ответственным. В этой связи более подробно он освещается в отдельном (самостоятельном) учебном пособии – Бойко Е.А. «Выбор и расчет золоулавливающих устройств», а в данном пособии не рассматривается.



Вопросы для самоконтроля:

1. Назначение экономайзеров, типы?
2. Для чего нужна линия рециркуляции между барабаном котла и экономайзером?
3. Виды воздухоподогревателей?

4. Неполадки в работе воздухоподогревателей?
5. Взаимное расположение, компоновка экономайзеров?

2.7. Тяга и дутье

2.7.1. Устройство вентиляторов и регулирование их производительности

Для перемещения воздуха и дымовых газов котла оборудуют центробежными машинами. Во всех этих машинах (вентиляторах) воздух или дымовые газы поступают в центральную часть ротора или крыльчатки (рис.48).

Крыльчатка (рабочее колесо) вращается с большой скоростью.

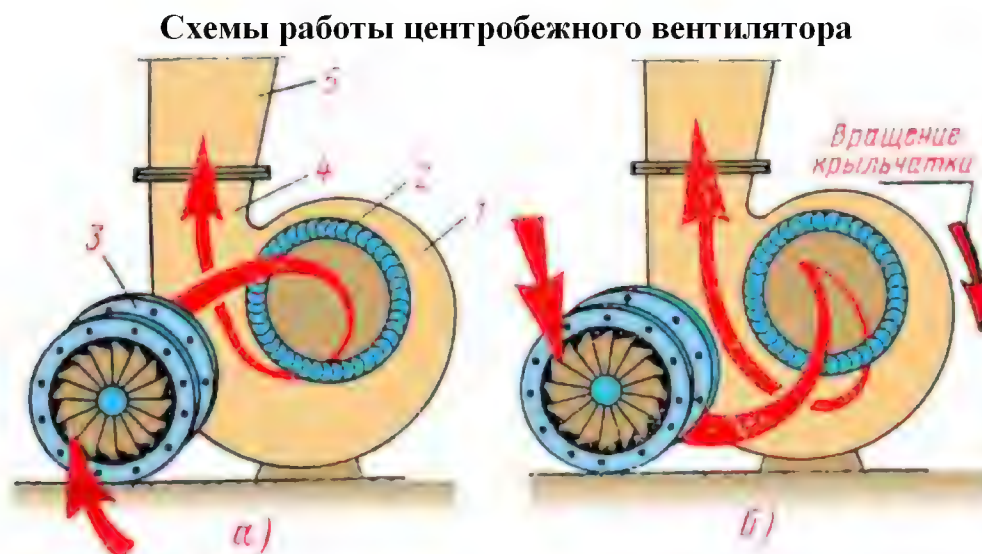


Рис. 48

а – правильное положение направляющего аппарата; *б* – неправильное положение: 1 – кожух; 2 – ротор; 3 – направляющий аппарат; 4 – выходной патрубок вентилятора; 5 –присоединенный к вентилятору расширяющийся патрубок газозовдухопровода (диффузор)

По его окружности расположены вперед или назад загнутые лопадки, которые ударясь о находящийся перед ними воздух (или дымовые газы), выбрасывают его наружу.

Выйдя из рабочего колеса, воздух (или газы) попадают в расширяющуюся полость между рабочим колесом и кожухом вентилятора, которая заканчивается выходным патрубком.

Чем с большей силой ударяются лопадки о воздух или газы, тем больше создаваемый вентилятором напор, т.е. разность давления (или разрежения) в выходном и входном патрубках.

Напор вентилятора измеряется в миллиметрах водяного столба (мм. вод. ст.). С увеличением скорости вращения рабочего колеса напор увеличивается почти пропорционально квадрату числа его оборотов.

Создаваемый вентилятором напор затрачивается на преодоление сопротивления при движении воздуха или дымовых газов. Важно знать, что потеря напора на трение дымовых газов или воздуха пропорциональна квадрату их скорости (несколько уменьшаясь с повышением их температуры). Так при снижении нагрузки котла от максимальной до 70% потеря напора на трение уменьшается примерно в 2 раза; при снижении нагрузки вдвое потеря напора сокращается в 4 раза и т.д.

Уменьшение напора вентиляторов при работе котла с неполной нагрузкой можно осуществить различными способами. Наиболее удобным и экономичным считается регулирование направляющим аппаратом, который присоединяют ко всасывающему патрубку вентилятора.

Применяют различные типы направляющих аппаратов.

Все лопатки имеют общий механизм, поворачивающий их одновременно и на одинаковый угол. Лопатки придают проходящему через них воздуху предварительное закручивание в ту же сторону, в которую вращается рабочее колесо вентилятора.

Чем больше предварительное закручивание, тем меньше создаваемый вентилятором напор. Поворачивая лопатки направляющего аппарата, можно уменьшить напор вентилятора при малой нагрузке и увеличить напор при полной нагрузке котла.

Иногда воздух или дымовые газы ошибочно завихряют в направляющем аппарате в сторону противоположную направлению вращения рабочего колеса.

Тогда во внутренней части рабочего колеса газовый или воздушный поток должен резко поворачиваться, на что тратится значительная часть создаваемого вентилятором напора.

Соответственно снижаются показатели работы вентилятора (рис.48, б).

Влияние начального закручивания газов на работу дымососа особенно ярко ощущалось на электростанции, где были пущены в работу пять котлов производительности 200 т час. На первых трех котлах дымососы работали удовлетворительно. На следующих двух котлах сочли более удобным шиберы на всасывающей стороне дымососа сделать поворачивающимися в другую сторону.

При пуске этих котлов электродвигатели дымососов несли полную нагрузку уже тогда, когда шиберы были открыты на 20°, то есть при низкой производительности дымососов. Недостаточная тяга ограничивала нагрузку котлов.

Причины плохой работы долго не могли найти.

Неправильное положение шиберов было выявлено лишь тогда, когда решили для облегчения обслуживания одного из первых котлов поставить дистанционное управление шиберами от пола котельной.

В связи с этим шиберы повернули в другую сторону и после пуска котла обнаружили резкое ухудшение его тяги: вместо 200 т час нагрузку нельзя было поднять выше 110 т час (рис. 49).

Влияние направления открытия направляющих шиберов на работу дымососа

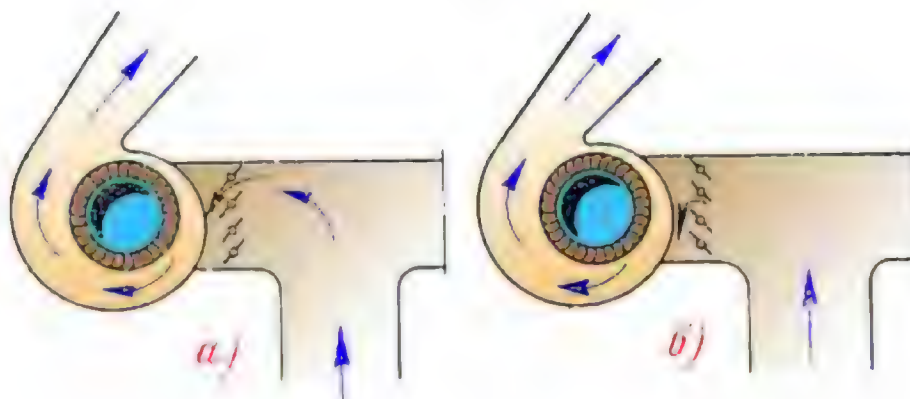


Рис. 49

а – правильное положение шиберов; *б* – неправильное положение шиберов.

Конечно после этого шиберы были исправлены на всех остальных котлах.

Направляющим аппаратом можно плавно и с требуемой точностью регулировать работу машины. Особенно важно то, что направляющий аппарат дает возможность значительно уменьшить расход электроэнергии на работу вентилятора при снижении его производительности, что способствует уменьшению расхода электроэнергии на собственные нужды котельной.

Для котов очень большой производительности (800÷1900т/час) применяют не только центробежные, но и осевые машины (рис. 50).

Схема осевого дымососа ДОД-31,5

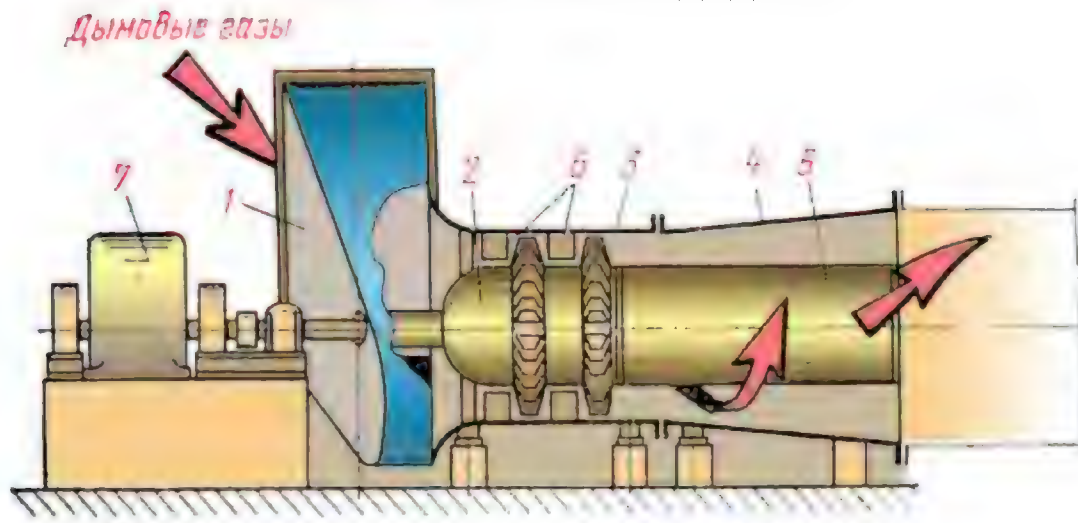


Рис. 50

1 – всасывающий короб; 2 – ротор с рабочими лопатками; 3 – корпус; 4 – диффузор (выходная часть корпуса); 5 – неподвижная осевая труба; 6 – двухступенчатый направляющий аппарат; 7 – электродвигатель

Дымовые газы из всасывающего патрубка поступают в цилиндрический корпус, в котором со скоростью 490 об/мин вращаются два рабочих колеса с радиально установленными лопатками. Перед каждым рабочим колесом находятся прикрепленные к корпусу лопатки направляющего аппарата.

На напорной стороне дымососа скорость дымовых газов снижается в диффузоре.

На рис. 51 показано, как внутри вентилятора центробежная сила отбрасывает воздух к наружной стенке. В выходном патрубке движение воздуха неравномерно. По мере удаления от вентилятора воздушный поток выравнивается.

Поворот воздуха за вентилятором лучше делать так, чтобы движущейся с большей скоростью воздух прошел на повороте более длинный путь, то есть направление поворота воздуха сделать одинаковым с направлением вращения рабочего колеса. Чем ближе от вентилятора осуществлен неправильный поворот, тем больше в нем непроизводительная потеря напора.

Неровности, искривления и уступы в выходном патрубке вентилятора вредны, главным образом, потому, что они становятся очагами добавочных завихрений, которые увеличивают потерю напора на трение. Чем больше скорость воздушного или газового потока, тем больше потери напора из-за этих причин.

Различные конструкции напорного воздухопровода за дутьевым вентилятором

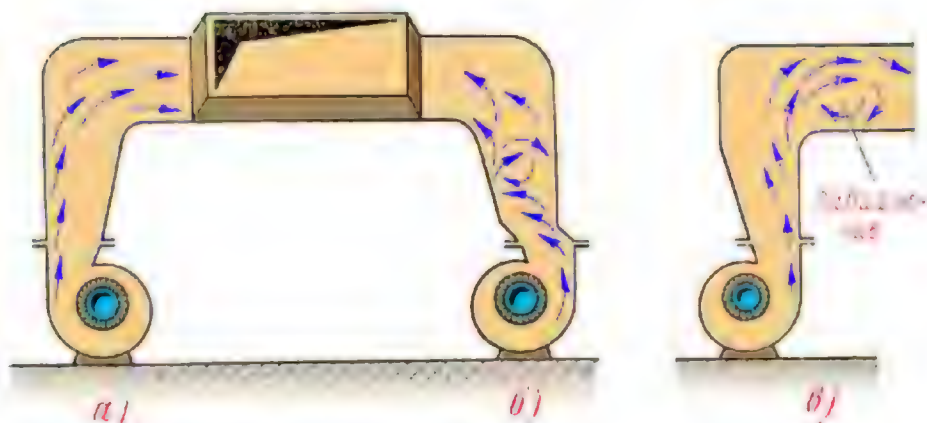


Рис. 51

a – правильная конструкция; *б* – уступ в выходном патрубке, создающий вредное завихрение воздуха и большую потерю напора; *в* – неправильный поворот воздуха до его выравнивания в выходном воздухопроводе

Из трех установленных на электростанции одинаковых котлов производительностью 220 т/час два котла могли нести полную нагрузку с первых дней эксплуатации, но у третьего котла дутьевые вентиляторы обеспечивали повышение нагрузки только до 190 т/час.

У всех котлов вентиляторы были одинаковы.

Газовый анализ подтвердил, что на третьем котле отсутствует утечка воздуха в дымовые газы в трубчатом воздухоподогревателе.

При подробном обследовании работники электростанции обратили внимание на неправильную форму выходного патрубка одного из вентиляторов. Сделав ошибочно при монтаже котла укороченный короб между обоими машинами, монтажники приварили к этому коробу искривленный переходной участок, резко тормозивший воздушный поток в месте, где он имел максимальную скорость (рис. 51, б).

Котел стал работать с полной нагрузкой после переделки, ликвидировавший чрезмерную потерю напора на выходе воздуха из дутьевого вентилятора.

2.7.2. Тягодутьевая установка котла

Размещение оборудования. Обычно крупные котлы оборудуются двумя включенными параллельно дутьевыми вентиляторами и двумя дымососами (на рис. 47 изображено по одному из них). Необходимый для горения воздух засасывается из верхней части котельного цеха, где его температура выше, чем перед вентиляторами.

У пылеугольных котлов часть горячего воздуха отводится в углеразмольные мельницы.

На рис. 47 показан газомазутный котел, у которого в горелки направляется весь горячий воздух (кроме небольшого его количества, подаваемого для предварительного подогрева холодного воздуха, чтобы уменьшить интенсивность коррозии воздухоподогревателя).

Шиберы. Условия работы шиберов при их частичном прикрытии начали изучать сравнительно недавно с начала 70^х годов.

Тормозящее действие шибера заключается в том, что в проходящем через него воздушном потоке возникают завихрения, вследствие чего увеличивается потеря напора воздуха, отсекающего шибер. Но через многостворчатый шибер воздух или газы проходят плавно, изменяя лишь свое направление.

Небольшие завихрения возникают преимущественно у крайних створок. Испытания отдельных конструкций показали, например, что при наклоне одностворчатого шибера на 60° от направления воздушного потока количество воздуха уменьшилось только в 1,5 раза (рис. 52, а, б). Промежуточную эффективность имеют многостворчатые шиберы с разделительными внутренними перегородками (рис. 52, в).

Параллельная работа вентиляторов. Рассмотрим конкретный пример. Предположим, что из двух установленных у котла одинаковых дутьевых вентиляторов работает только один. Выдаваемый им воздух распределяется на обе половины котла. Полной нагрузке вентилятора соответствуют его производительность 100 000 м³/час и напор 300 мм.вод.ст.

Второй вентилятор, работая без первого, мог бы дать такие же напор и производительность, но при параллельной работе на один котел условия резко меняются.

Можно представить себе, что каждый из двух работающих параллельно вентиляторов дает воздух только на одну половину общего числа горелок, правый вентилятор – на правую, а левый – на левую половину.

За каждым из вентиляторов почти по всему пути воздуха поперечные сечения будут вдвое меньше.

Если бы каждый из вентиляторов давал через суженные в 2 раза сечение прежнее количество воздуха, равное $100\,000\text{ м}^3/\text{час}$, то сопротивление воздушного потока увеличилось бы примерно в 4 раза, т.е. составило бы около 1 200 мм.вод.ст.

Конечно, преодолеть такое сопротивление дутьевые вентиляторы не могут.

Уменьшение количества проходящего через воздухопровод воздуха при частичном закрытии шиберов различной конструкции

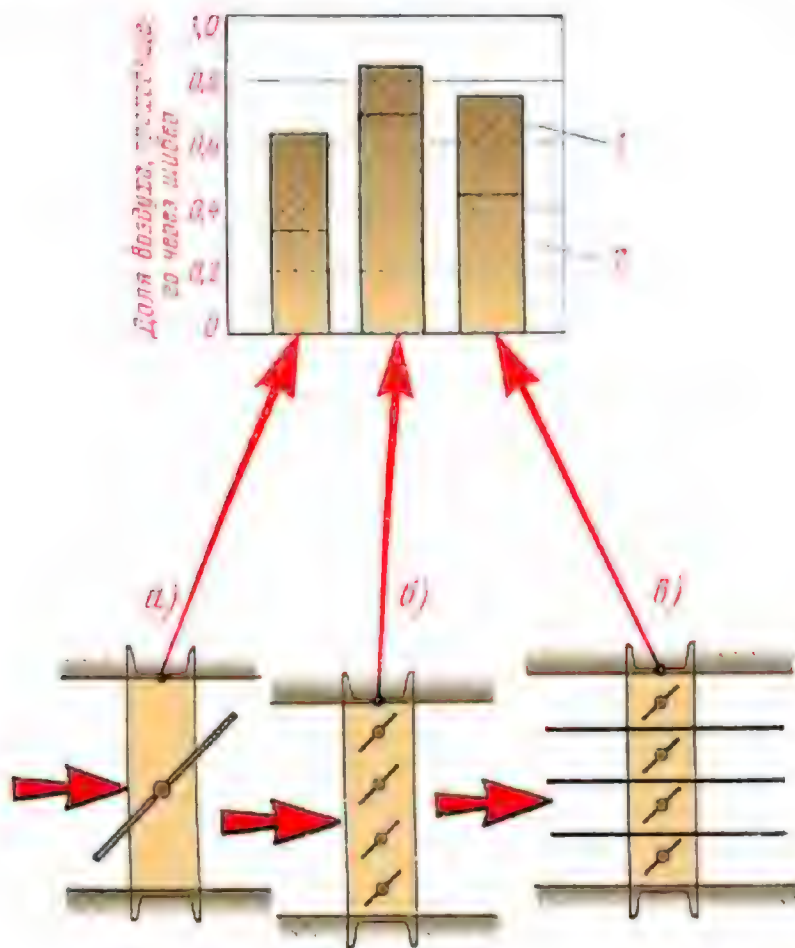


Рис. 52

a – одностворчатый шибер; *б* – четырехстворчатый шибер; *в* – четырехстворчатый шибер с направляющими перегородками: 1 – при повороте шиберов на 45° от направления потока; 2 – при его повороте на 60° .

Из этого примера можно сделать вывод, что при параллельной работе производительность каждого вентилятора уменьшается.

Два одинаковых вентилятора не могут дать вдвое больше воздуха, чем каждый из них.

При параллельной работе двух вентиляторов или дымососов необходимо следить за тем, чтобы все время была одинаковой нагрузка, которую определяют по показаниям амперметров электродвигателей.

Экономичность вентиляторов снижается при работе их с низкой нагрузкой. Потому при снижении нагрузки котла целесообразно останавливать по одному из двух дымососов или вентиляторов с тем, чтобы оставшиеся включенными машины работали с полной нагрузкой и, следовательно, с меньшим расходом электроэнергии, чем при работе всех четырех машин.

Центробежный вентилятор одностороннего всасывания

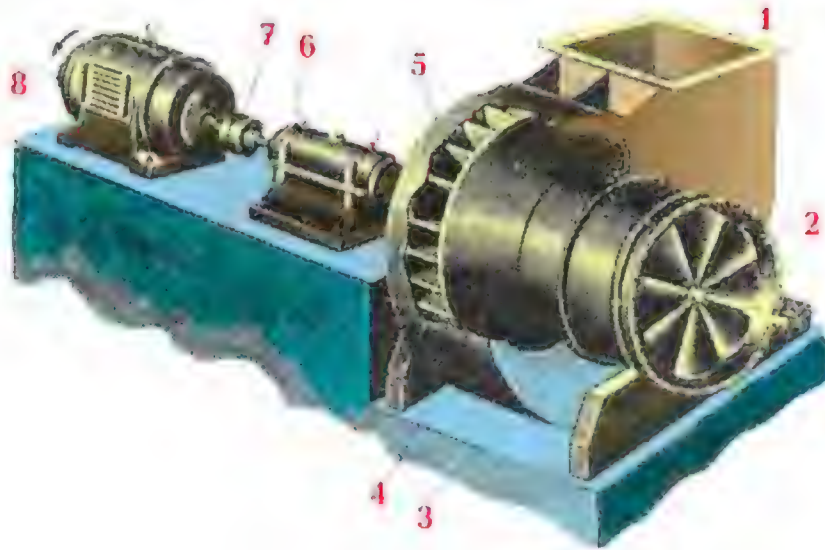


Рис. 53

1 – выходной патрубок; 2 – поворотные лопатки направляющего аппарата; 3 – улиткообразный кожух; 4 – ротор; 5 – рабочее колесо; 6 – корпус подшипников; 7 – соединительная муфта; 8 – электродвигатель

Разрежение в топочной камере. В топке работающего котла можно наблюдать странное, на первый взгляд, явление. В нижней части топки сохраняется разрежение $15 \div 20$ мм.вод.ст. даже иногда, когда в самой верхней ее части давление газов в точности равно атмосферному и через открытые сверху топки лючки нет ни выбивания газов, ни подсоса внутрь наружного воздуха.

Чем ниже находится лючок в стене топочной камеры, тем сильнее засасывается через него наружный воздух.

Может показаться, будто топочные газы движутся от зоны с большим разрежением в зону с меньшим разрежением.

Чтобы объяснить это кажущееся противоречие, нужно мысленно выделить два одинаковых газовых столба – один из объема наружного воздуха и второй из объема топочных газов (столбы А и Б на рис. 54).

Давление вверху этих столбов почти одинаковое и различается только на 2 мм.вод.ст. внизу же давление различно, поскольку вес столба холодного воздуха в несколько раз превышает вес столба горячих газов.

Упрощенная схема естественной тяги, создаваемой дымовой трубой

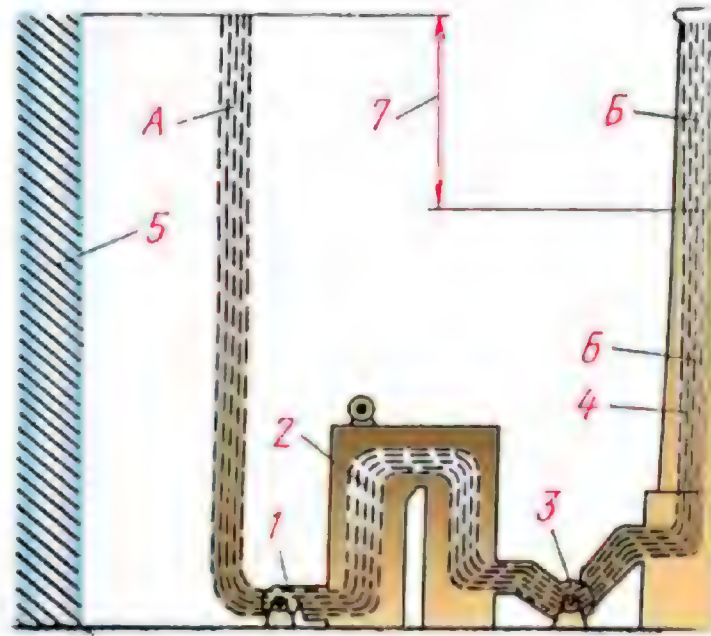


Рис. 54

1 – дутьевой вентилятор; 2 – котел; 3 – дымосос; 4 – дымовая труба; 5 – вес столба наружного воздуха; 6 – вес столба дымовых газов; 7 – движущий напор естественной тяги

Поэтому внизу топки давление снаружи больше, чем внутри ее, и при открытии лючка видно, что низ топки находится под разрежением.

Глазомерный вывод о том, что газы в топке якобы движутся от большего разрежения к меньшему, неверен потому, что, измеряя разрежение или давление, мы сравниваем его с давлением наружного воздуха.

Абсолютное же давление газов в топке внизу больше чем сверху.

Дымовая труба. Столб находящийся в дымовой трубе нагретых газов Б легче, чем такой же по высоте столб наружного воздуха А. Оба газообразных столба соединены внизу газоходами котла (рис. 54). Более тяжелый наружный воздух стремится вытеснить газы из трубы и создает естественную тягу, содействующую работе дымососов.

Эта тяга тем больше, чем выше труба и чем больше разность между температурой поднимающихся в ней газов и температурой наружного воздуха.

В зимние месяцы она больше, чем летом.

У котлов малой мощности дымовая труба полностью обеспечивает тягу или дает возможность работать без дымососа при низкой нагрузке.

У больших котлов тяга, создаваемая дымовой трубой, лишь незначительно помогает работе дымососов.

Высокие дымовые трубы на электростанциях большой мощности устанавливают главным образом для того, чтобы продукты сгорания топлива (в

том числе и ядовитые окислы серы и азота), а также частицы золы и сажи рассеивались на большом пространстве и меньше загрязняли окружающую местность.

Наиболее высокими дымовыми трубами оборудуются самые мощные электростанции.

В нижней части дымовой трубы газы находятся при значительном разрежении, которое, как и разрежение в нижней части топки, обусловлено различием веса столбов газов и наружного воздуха.

Естественная тяга в трубе уменьшается вследствие трения газов о ее стенки. Присос наружного воздуха через неплотности в нижней части трубы вреден не только из-за того, что при охлаждении газов уменьшается естественная тяга, но и потому, что с возрастанием количества проходящих внутри трубы газов увеличивается потеря напора на их трение о стенки трубы.

Для уменьшения присоса наружного воздуха необходимо систематически поддерживать плотность наружных газоходов за дымососами и, в частности, плотность люка под трубой.

Ещё больший присос воздуха может возникнуть при не тщательно закрытых газоходах остановленных котлов, когда другие присоединенные к той же трубе котлы продолжают работать. При неплотности шиберов большое количество воздуха присасывается в трубу в период разъема кожуха остановленного дымососа.

Еще более возрастает потеря напора на трение газов в дымовой трубе в случае, если в эту трубу включено больше котлов, чем по расчету.

2.8. Каркас и обмуровка котлов

2.8.1. Каркасы котлов

Каркасом котла называют металлическую конструкцию, несущую барабаны, поверхности нагрева, обмуровку, помосты и другие элементы котельного агрегата и передающую их вес на фундамент.

Каркас современного котла большой производительности весьма сложен, его вес составляет $20 \div 25$ % веса всего металла котла.

Каркас состоит из вертикальных колонн и стоек, из горизонтальных ферм, опорных балок и соединительных ригелей и из диагональных связей (рис.55).

Кроме того к каркасу котла относятся обшивочные щиты, на которые опирается обмуровка и отдельные поверхности нагрева.

Основная нагрузка на каркас определяется весом опирающихся на него частей котла. Весовая нагрузка вызывает сжатие и изгиб элементов каркаса. У котлов с естественной циркуляцией воды экраны висят либо на своих верхних коллекторах, либо на барабане или на находящихся сверху котла промежуточных опорах.

**Схема каркаса правого корпуса двухкорпусного пылеугольного котла
сверхкритического давления ТПП-210А**

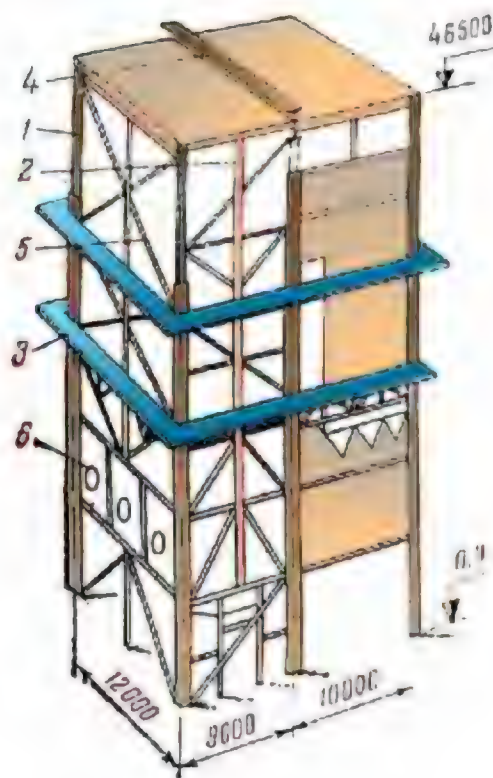


Рис. 55

1 – основная колонна; 2 – вспомогательная колонна; 3 – горизонтальная ферма; 4 – потолочная балка; 5 – диагональная связь; 6 – отверстие для пылеугольной горелки; 7 – поперечное сечение одной из основных колонн

Тяжелый барабан также находится в верхней части котла. В этих условиях нагрузка от экранной системы передается преимущественно верхней части каркаса.

Вторым видом нагрузки на каркас являются напряжения, возникающие при его собственном неравномерном расширении от нагревания

Наибольшие перемещения происходят в верхней части котла, но могут быть опасными только в редких случаях при повреждении обмуровки и чрезмерном нагреве несущих балок каркаса.

При обнаружении такого опасного нагрева следует аварийно остановить котел.

Третьим видом нагрузки являются усилия опрокидывания каркаса. Возможность опрокидывания предотвращается диагональными связями между колоннами.

Наибольшие опрокидывающие усилия возникают в каркасе во время землетрясения.

В местностях, где бывают землетрясения, каркасы котлов усиливают. Много жестко связывают каркасы рядом стоящих котлов.

Четвертым видом нагрузки, которой изредка подвергается каркас, является кратковременное воздействие сил при взрыве в топке или газоходах.

Такие взрывы, очень опасные для людей, возникают в редких случаях явного нарушения правил эксплуатации котла. На сопротивление взрывам ни каркас, ни обмуровка не могут быть рассчитаны, и их повреждение при взрыве может быть очень велико.

Прочность и устойчивость каркаса значительно возрастают благодаря тому, что все диагональные связи и большинство горизонтальных балок жестко приварены к колоннам.

Свободно опираются на каркас и прикреплены к нему болтами, проходящие через удлиненные отверстия, лишь те балки, которые могут при тепловом расширении или изгибе создавать большие дополнительные напряжения в колоннах.

Жесткость каркаса увеличивается дополнительно благодаря тому, что нижние концы колонн закреплены в фундаменте котла и забетонированы.

С каркасом котла жестко связаны помосты для его обслуживания и лестницы. Помосты приваривают к каркасу, и они увеличивают его жесткость.



Вопросы для самоконтроля:

1. Основные характеристики тяго - дутьевых машин?
2. влияние направления открытия шиберов на работу дымососов и вентиляторов?
3. Как влияет конструкция шиберов на работу вентиляторов?
4. Понятие о естественной тяге самотяга дымовой трубы?
5. Для чего нужен каркас котла?

2.8.2. Обмуровка котлов

Конструкция обмуровки. Обмуровка – система огнеупорных и теплоизоляционных ограждений топки и газоходов – предназначена для уменьшения тепловых потерь и обеспечения газовой плотности котла.

Современные конструкции обмуровки энергетических котлов разделяют на натрубные, накаркасные и газоплотные.

Натрубная обмуровка крепится непосредственно к трубам экранов, перемещаясь при их температурных расширениях.

Накаркасная обмуровка крепится на каркасе котла и изготавливается в виде отдельных щитов, панелей, блоков не связанных с трубной системой.

Газомазутная обмуровка устанавливается на сварные плавниковые трубы или металлический лист, закрепленный снаружи экранных труб и выполняется из теплоизоляционного и защитного слоев.

Общими элементами обмуровки котлов являются стены топки, газоходов, потолочное перекрытие, амбразуры горелок, поды, ошипованные экраны, зажигательные пояса, летки, холодные воронки, своды, арки и др.

Стены топки и газоходов бывают вертикальные и наклонные. В зависимости от тепла котлов и их производительности стены выполняют из различных материалов: огнеупорного, строительного, теплоизоляционного кирпича, огнеупорных, жаростойких и теплоизоляционных бетонов, температуроустойчивой изоляции и др.

Потолочные перекрытия топки и газоходов по способу их крепления можно разделить на подвеске и опирающиеся непосредственно на трубы поверхностей нагрева.

Многослойные перекрытия выполняют из жаростойкого и теплоизоляционного бетонов, огнеупорных изделий, температуроустойчивых теплоизоляционных плит и т.д.

Амбразуры в обмуровке служат для установки пылеугольных, газовых или мазутных горелок, люков, лазов, лючков и гляделок, необходимых для обслуживания топки. В зависимости от конструкции топок котлов амбразуры выполняют из фасонного шамотного кирпича или огнеупорного бетона.

Поды служат для сбора жидкого шлака. В зависимости от конструкции полок под может быть горизонтальным, наклонным или комбинированным. Под, как правило, выполняют из огнеупорных хромитовых набивных масс, шамотного кирпича или паростойкого бетона.

Ошипованные экраны служат для повышения устойчивости горения угля в топке. Зажигательные пояса делают из карборундовой и хромитовой масс и помещают на стенах топок в районе горелок, набивая их на стальные шипы, приваренные к экранным трубам.

Летки устраивают для удаления жидкого шлака, скапливающегося на поде топки. Летки, как правило, выполняют из шамотного кирпича высшего класса.

Стены летки защищают от воздействия высоких температур расплавленного шлака змеевиком из труб, через который прокачивается техническая вода.

Холодные воронки расположены в нижней части топок и служат для удаления твердых частиц шлака.

Стены холодной воронки защищают шамотным кирпичом или слоем жаростойкого бетона.

В устаревших и некоторых промышленных конструкциях котлов, выпускаемых в настоящее время применены своды и арки.

Сводами перекрывают топки или газоходы. Своды выполняют из огнеупорного камня, паростойких блоков или монолитного бетона.

Арками перекрывают отдельные проемы в кладке кирпичных стен. Арки выполняют из кирпича по предварительно установленной форме арки.

В обмуровке различают внутренний слой, подвергающийся действию высоких температур и газов, и наружный слой, обеспечивающий плотность и изоляцию топки.

Внутренний слой обмуровки, расположенный в топке с газоходах и омываемый пламени или газами с температурой $900 \div 1300$ °С, должен быть огнеупорным, т.е. надежно противостоять длительному действию высоких темпе-

ратур газов, пламени и др. не разрушаясь и не теряя своих свойств. Для этого внутренний слой выполняют из материалов с высокой температурой плавления.

Наружный слой, обеспечивающий хорошую изоляцию топки и газоходов от внешнего охлаждения, выполняют из материалов, плохо проводящих тепло.

Для уменьшения толщины и массы обмуровки применяют газоплотное экранирование стен топки.

Обмуровка работает в условиях непрерывного воздействия высоких температур газов, летучей золы, частиц несгоревшего топлива. Чем выше температура в топке котла, тем интенсивнее идет процесс разрушения обмуровки.

Из-за значительной разности температур на внутренней и наружной поверхностях обмуровки в ней возникают температурные расширения различной величины.

Это может привести к появлению в обмуровке трещин.

Чем больше неровностей на внутренней поверхности обмуровки и толще ее швы, тем интенсивнее она изнашивается.

Натрубная обмуровка. При различии давления газов и воздуха внутри и снаружи топки трубные панели (блоки) экранов подвергается деформации и вибрации.

Поэтому в котлах с натрубной обмуровки по всему периметру топки имеют горизонтальные пояса жесткости.

Натрубную обмуровку котлов большой производительности (рис. 56) выполняют либо из отдельных слоев жаростойкого и теплоизоляционного бетонов, наносимых на трубы смонтированных экранов, либо из готовых плит с огнеупорным и теплоизоляционными слоями, которые изготавливают на заводах или в мастерских монтажных участков. Кроме того, применяют комбинированную обмуровку, для чего огнеупорный слой в пластичном состоянии наносят на трубы экрана, а теплоизоляционный слой выполняют из готовых изоляционных материалов.

Зоны применения натрубной обмуровки могут быть различны (рис. 57, *а* и *б*). Например в средней и нижней частях топки с холодной воронкой выполнена натрубная обмуровка, а в верхней части либо облегченная кирпичная, либо легкая накаркасная.

Наиболее распространенной на отечественных котлах является обмуровка, при которой все топочные экраны подвешиваются на верхних коллекторах и свободно расширяются вместе с натрубной обмуровкой. На стыке двух различных обмуровок выполняется температурный шов, разделяющий подвижную обмуровку топочной камеры от неподвижной обмуровки газохода.

Одной из последних является конструкция натрубной обмуровки, показанная на рис. 58.

Конструкция натрубной обмуровки

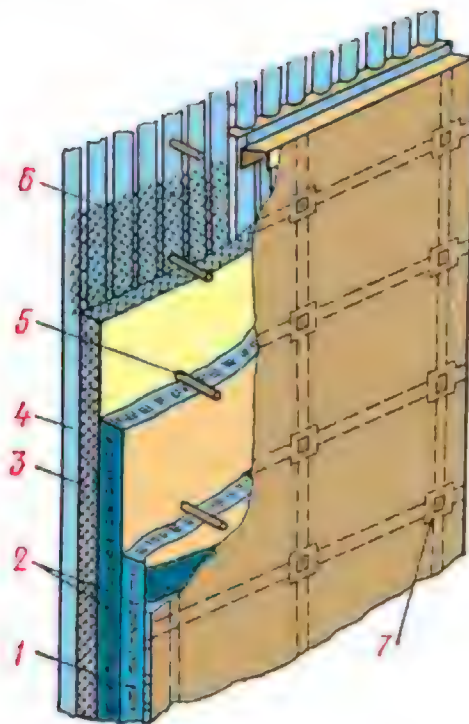


Рис. 56

1 – газонепроницаемая обмазка; 2 – теплоизоляционный слой; 3 – шамотобетон; 4 – экран-
ные трубы; 5 – штырь, 6 – металлическая сетка; 7 – крепежная шайба

Конструкция обмуровки наклонного потолка котла БМ-35-40

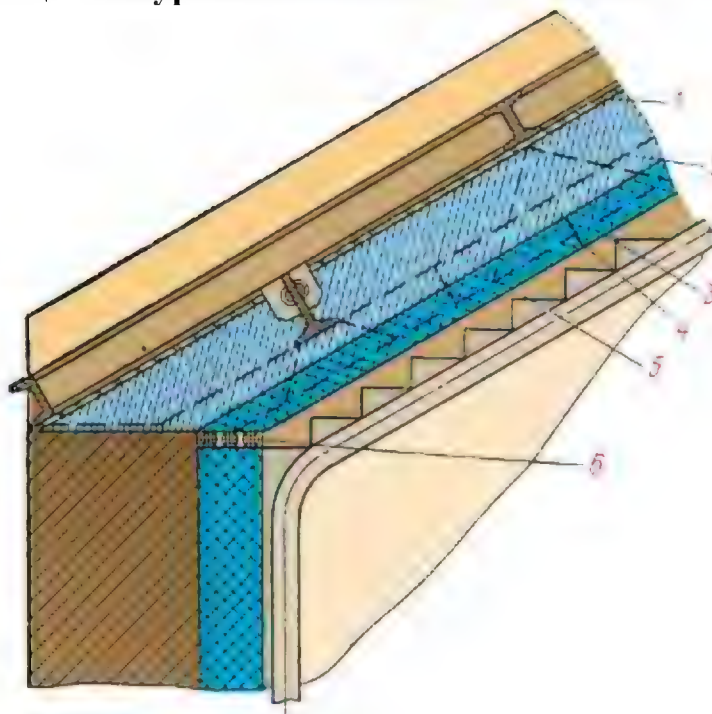


Рис. 57а

1 – асбоцементная газонепроницаемая обмазка; 2 – диатомобетон; 3 – шамотобетонная пли-
та; 4 – асбестовый картон; 5 – арматурная сетка; 6 – асбестовый шнур

Конструкция обмуровки горизонтального потолка котла БМ-35-40

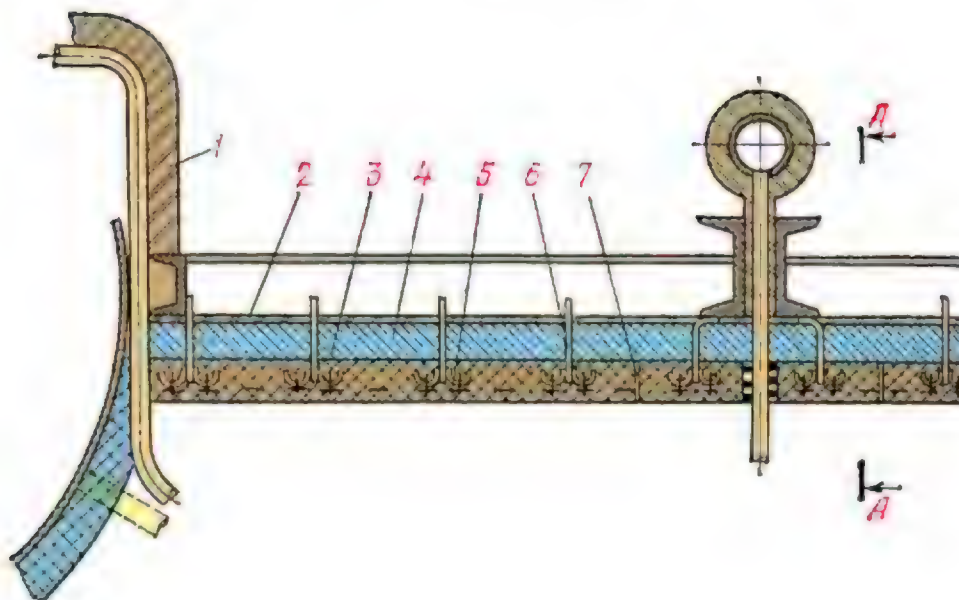


Рис. 57б

1 – асбозуритовая мастика; 2 – асбоцементная газонепроницаемая обмазка; 3 – шамотобетонная плита; 4 – диатомобетон; 5 – арматурная сетка; 6 – металлический крюк; 7 – асбестовый картон

Конструкция сборной натрубной обмуровки с теплоизоляционным напыляемым слоем

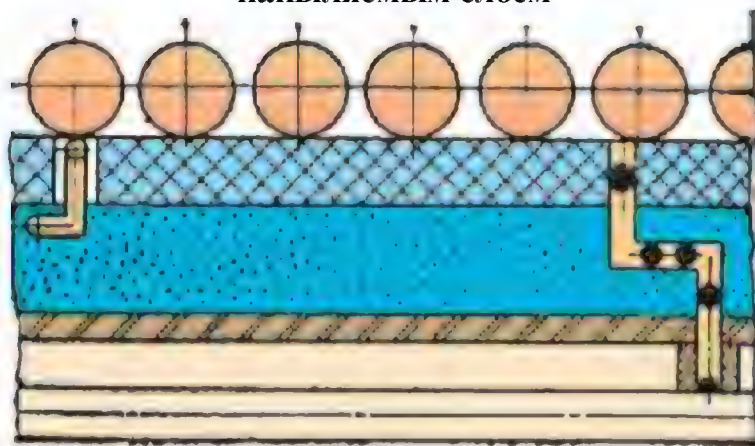


Рис. 58

В отличие от типовых натрубных набивных обмуровок новая конструкция состоит из отдельных шамотбетонных плит, установленных на экранах с помощью штырей.

Плиты 2 из шамотбетона размером $1\,000 \times 1\,000$ мм, толщиной 50 мм собраны в блоки по 4 шт, которые соединены компенсаторами. Стыки между плитами уплотнены асбестовым шнуром 6.

На закрепленные таким образом плиты методом напыления нанесен слой изоляции 3 из асбестоперлитовой смеси на связке из жидкого стекла.

Сверху изоляционного слоя натянута металлическая сетка 4 и по ней уложена газонепроницаемая обмазка 5.

Теплоизоляционный слой полностью компенсирует тепловые расширения облицовочных конструкций и исключает образование трещин, неизбежных в традиционных конструкциях.

Накаркасная (щитовая) обмуровка.

В котлах с негерметичным экранированием применяют накаркасную обмуровку, состоящую из внутреннего огнеупорного и внешнего теплоизоляционного слоев.

Конструкция облегченной обмуровки фронтальной стенки топки котла ДКВР-2,5-13

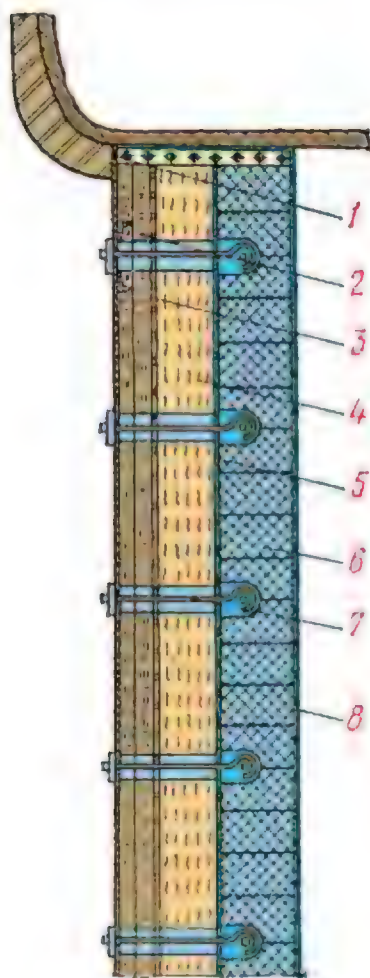


Рис. 59

1 – металлическая обшива; 2 – теплоизоляционная плита; 3 – теплоизоляционная мастика; 4 – диатомовый кирпич; 5 – газонепроницаемая обмазка; 6 – легковесный шамотный фасонный кирпич; 7 – кляммера; 8 – огнеупорная обмазка

Огнеупорный слой представляет собой шамотобетонный щит, армированный стальной сеткой. Щиты бывают различных геометрических форм и размеров.

За шамотобетонным (или диатомобетонным) слоем щита укладывают теплоизоляционный слой (совемитовые, перлитоцементные, вулканические плиты, минеральные маты). Снаружи обмуровки закрывают металлическими листами толщиной до 3 мм.

В отдельных случаях по изоляционному слою укладывают уплотнительную штукатурку армированную стальной плетеной сеткой.

Кроме шамотобетона применяют, который имеет меньшую теплопроводность, но менее паростоек, чем шамотобетон.

Конструкция накаркасной кирпичной обмуровки экранированных стен топки котла БКЗ-75-39ГМ

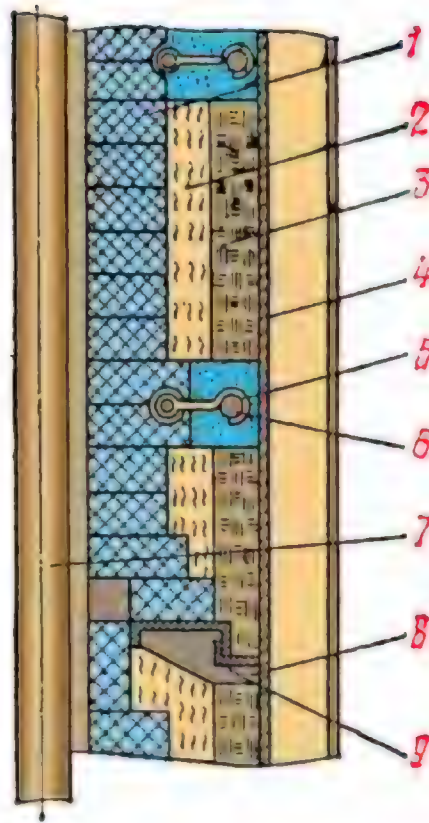


Рис. 60

- 1 – шамотный кирпич; 2 – диатомовый кирпич; 3 – теплоизоляционные плиты; 4 – металлическая обшивка; 5 – крюк; 6 – отрезок трубы для подвешивания крюка; 7 – экранная труба; 8 – опорный кронштейн; 9 – крюк для навески опорного кронштейна

Иногда в огнеупорном слое используют оба материала (более тонкий слой диатомобетона устанавливают за слоем шамотобетона). Также щиты устанавливают в зоне наибольшего нагрева обмуровки для снижения температуры на наружной поверхности диатомобетонного слоя.

Наибольшую толщину имеет обмуровку первого по ходу дымовых газов газохода, не защищенного экранами.

Защита стен газоходов экранами (поверхностями нагрева) у различных котлов неодинакова, поэтому конструкции обмуровок различаются по массе и сортаменту применяемых обмуровочных материалов.

Газоплотная обмуровка. Этот вид обмуровки применяется по панелям газоплотных блоков котлов или газоплотному ограждению обычных экранов. Газоплотные ограждения выполняют из металлического листа (2÷3 мм), который крепят непосредственно на трубы экранов.

Конструкция обмуровки камер водяного экономайзера котла Б-50-40

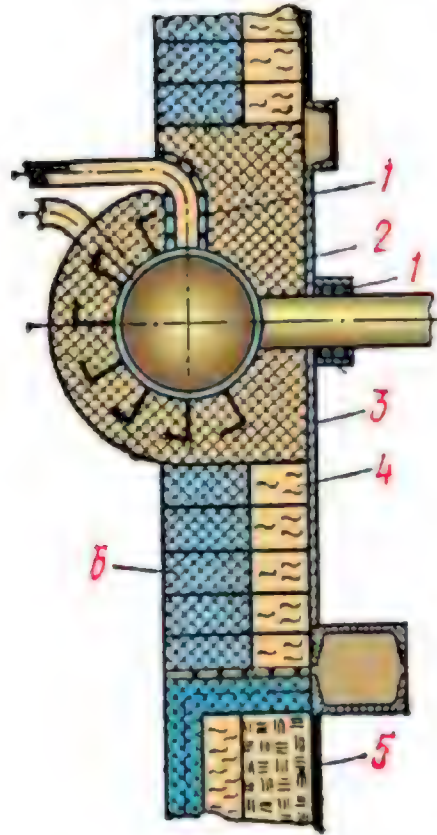


Рис. 61

1 – асбестовый шнур; 2 – шамотобетон; 3 – металлическая обшивка; 4 – диатомовый кирпич; 5 – газонепроницаемая обмазка; 6 – шамотный кирпич

Поверх листа устанавливают тепловую изоляцию.

При установке металлического листа по экраным трубам относительный шаг $s/d \approx 1,1$. В этом случае температура стенки трубы и металлического листа практически одинакова (s – межосевое расстояние, шаг труб; d – диаметр экранных труб).

2.9. Наружная и внутренняя очистка поверхностей нагрева

2.9.1. Наружная очистка радиационных поверхностей нагрева

Наиболее распространены очистка радиационных поверхностей нагрева перегретым паром (особенно на старых станциях с пылеугольным сжиганием твердого топлива), который вводится в топку обдувочными аппаратами.

Для этого используются аппараты ОМ-0,35 (ОПР-5) рис. 62.

Маловыдвижной обдувочный аппарат типа ОМ-0,35

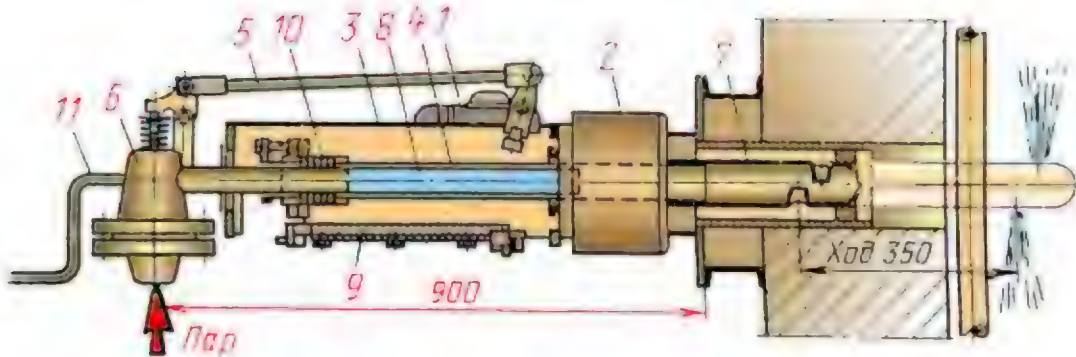


Рис. 62

1 – электродвигатель; 2 – редуктор; 3 – корпус; 4 – шпиндель; 5 – рычажной механизм; 6 – клапан; 7 – сопловая головка с двумя соплами Лаваля диаметром 20 мм (показана сплошными линиями в разрезе и условным пунктиром в рабочем состоянии); 8 – центральная неподвижная труба; 9 – направляющая; 10 – сальник; 11 – рукоятка

Здесь происходит следующее: при включении электродвигателя приводится в движение шпиндель с сопловой головкой.

Когда шпиндель и сопловая головка перемещается так, что сопла оказываются выдвинутыми в топку, особый выступ на шпинделе перемещает рычажный механизм, под действием которого открывается клапан и в аппарат подается пар или воздух.

При работе обдувочного аппарата мигает сигнальная лампочка на тепловом щите.

После совершения сопловой головкой установленного при наладке числа оборотов система управления автоматически обеспечивает возвращение сопловой головки в первоначальное положение и одновременно включает другой обдувочный аппарат.

Пар должен иметь давление перед клапаном от 13 до 40 кгм/см² и температуру до 350 °С. Такое же давление должен иметь воздух.

Радиус действия аппарата при работе на паре в 40 кгс/см² равен около 3-х метров.

Каждая стена топочной камеры оборудуется большим количеством аппаратов (рис. 63).

Их поочередной пуск в работу осуществляется, как правило, автоматически. Промежуток времени между отдельными обдувками устанавливается

различным на отдельных электростанциях (от одного раза в сутки до 2÷3 раз в смену).

Схема размещения на стенах топки и газоходом обдувочных устройств пылеугольного котла

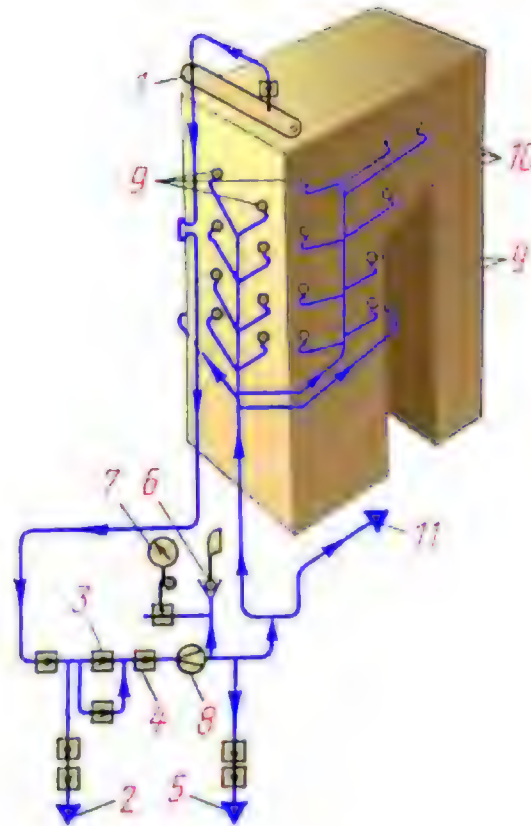


Рис. 63

1 – барабан; 2 – дренаж линии высокого давления; 3 – главный запорный вентиль; 4 – редукционный клапан; 5 – дренаж линии редуцированного пара; 6 – предохранительный клапан; 7 – манометр; 8 – расходомер; 9 – маловыдвижной аппарат ОМ-0,35; 10 – глубоковыдвижной аппарат типа ОГ для обдувки вертикальных трубных пакетов; 11 – линия подачи пара к эжектору или инжектору дробеструйной установки

График обдувки должен строго соблюдаться, поскольку большие шлаковые отложения паровая обдувка удалять не может.

Наиболее эффективно крупные шлаковые образования удаляются струей воды, которая подается обычно через пику с наконечником, перемещаемую вручную.

2.9.2. Наружная очистка вертикальных трубных пакетов

Для этого используются несколько модификаций глубоковыдвижных обдувочных аппаратов, действующих по тому же принципу, что и аппараты для обдувки радиационных поверхностей нагрева.

Обдувка производится либо насыщенным или перегретым паром давлением от 13 до 40 кгс/см² с температурой до 350 °С, либо воздухом давлением от 20 до 30 кгс/см².

Несущая балка (рис. 64) глубоководвижного аппарата прикрепляется в нескольких местах по длине к различным опорным конструкциям.

Одна из модификаций глубоководвижного обдувочного аппарата типа ОГ

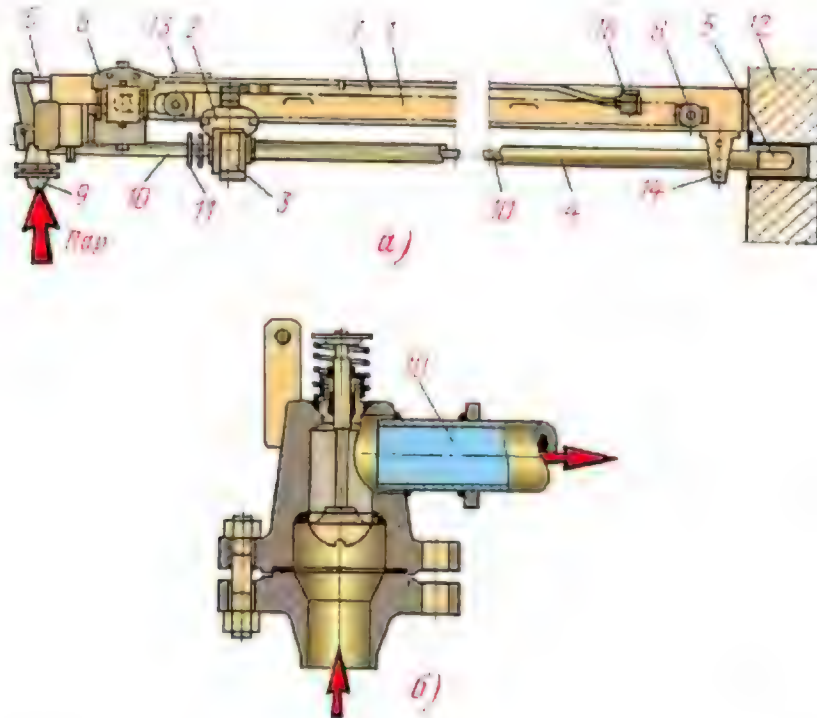


Рис. 64

а – общий вид аппарата; *б* – клапан, открывающий подачу в аппарат пара или воздуха: 1 – горизонтальная балка; 2 – каретка; 3 – редуктор; 4 – обдувочная труба; 5 – сопловая головка; 6 – редуктор; 7 – приводная цепь; 8 – звездочка приводной цепи; 9 – клапан; 10 – соединенная с клапаном неподвижная труба; 11 – сальник; 12 – обмуровка котла; 13 – площадка для прикрепления балки 1 к опорной конструкции; 14 – подшипник обдувочной трубы; 15 – рычажный механизм; 16 – концевой переключатель

В отдельных модификациях концы балки прикрепляют к рамам обшивочных щитов двух соседних одинаковых котлов. В этом случае к одной несущей балке крепятся два аппарата, очищающие поверхности нагрева в обоих котлах.

По нижней (а в некоторых модификациях аппарата – по верхней) полке несущей балки перемещается каретка, к которой прикреплены обдувочная труба с сопловой головкой и другие подвижные элементы аппарата.

При своем движении каретка задевает рычажный механизм, который опускает тарелку клапана и открывает подачу пара или воздуха в аппарат.

Из клапана пар или воздух движется по горизонтальной неподвижной трубе, конец которой находится внутри выдвижной обдувочной трубы. Место

сопряжения обеих труб уплотнено сальником. Пар выходит из сопловой головки, через сопла Лаваля диаметром 16 мм.

Редуктор 3 обеспечивает вращательное движение сопловой головки, и выходящей из нее пар обдувает поверхности нагрева по всему поперечному сечению.

Редуктор 5 сообщает через приводную цепь поступательное движение каретке и соединенным с ней выдвижным элементам обдувочного аппарата.

После их выдвижения внутрь газохода на назначенное расстояние каретка задевает концевой переключатель, который обеспечивает перемещение выдвижных элементов в обратном направлении и одновременно включает следующий обдувочный аппарат.

При выходе сопловой головки из газохода подача в нее пара автоматически прекращается.

Вибрационные устройства. На отдельных пылеугольных электростанциях конвективные поверхности нагрева котлов очищают от летучей золы с помощью вибрационных устройств.

При быстром многократном перемещении труб на небольшое расстояние (вибрации) с их поверхности осыпаются неплотные отложения золы.

Вибрационное устройство для очистки вертикальных ширм

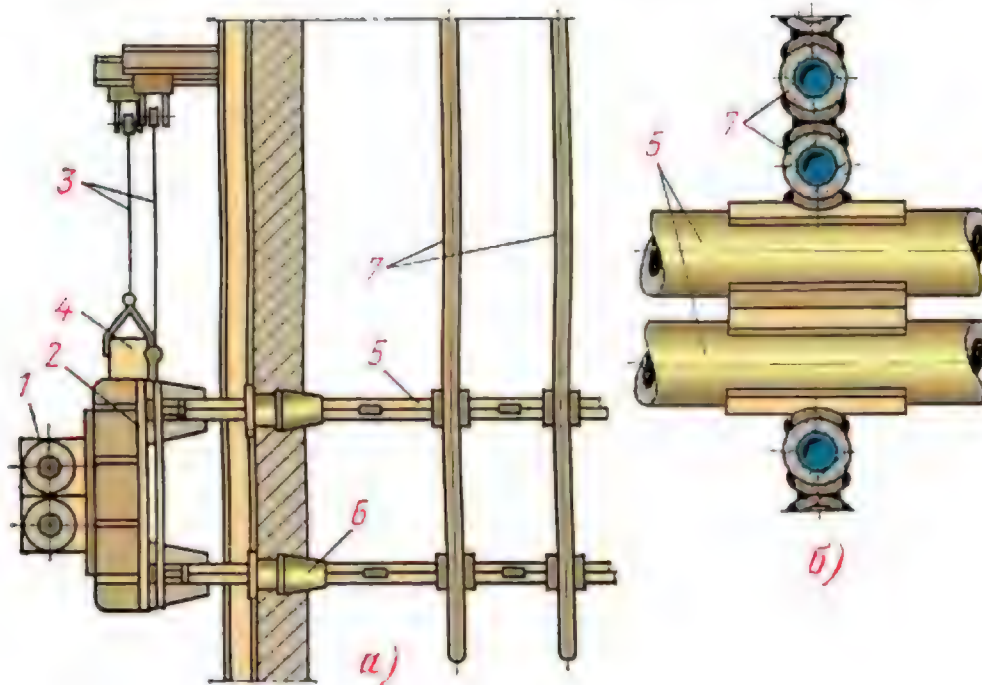


Рис. 65

а – вид сбоку; *б* – узел сопряжения виброштанги с обогреваемыми трубами (вид сверху): 1 – вибратор; 2 – плита; 3 – трос; 4 – противовес; 5 – виброштанга; 6 – уплотнение места подхода виброштанги через обмуровку; 7 – труба ширмы

Колебательные движения возникают в вибраторе, свободно висящем на тросе, к другому концу которого прикреплен противовес (рис. 65). Вибрация передается **виброштангам**, проходящим сквозь обмуровку котла и приварен-

ным к трубам ширм или вертикальных трубных пакетов. При очистке горизонтальных пакетов виброштанги приваривают к опорным стойкам.

При такой конструкции вибрация почти не передается на каркас, обмуровку и другие элементы котла.

Очистка в зависимости от местных условий производится от 1 до 4 раз в сутки. Каждая очистка длится до 20 сек.

Газоимпульсная очистка. В связи с увеличением газомазутных электростанций в последние годы стала использоваться газоимпульсная очистка конвективных поверхностей нагрева.

Процесс очистки осуществляется ударной волной (после микровзрыва) генерируемой при нестационарном истечении продуктов сгорания (в результате микровзрыва) из сопел, которые распространяясь в пакете, оказывают вибрационное воздействие на конвективные поверхности энергией высокоскоростных продуктов микровзрыва.

Интенсивность действия этих факторов зависит от объема взрывающейся смеси, конструктивных и режимных характеристик применяемых установок и может регулироваться в широком диапазоне.

Дробеструйная очистка. При работе дробеструйных устройств очистка труб производится стальной дробью диаметром от 3 до 7 мм (предпочтительно 4 мм), которую развеивают в верхней части вертикального газохода и которая, ссыпаясь вниз, увлекает с собой осевшую на трубах летучую золу или сажу.

Внизу собирается в бункере (рис. 66), а основное количество сбитой ею с труб золы или сажи из котла.

Затем дробь выносятся по трубам вверх котла потоком воздуха или пара, создаваемым помещенным внизу инжектором либо отделяется от воздуха или пара и снова направляется в газоход.

На котле устанавливают несколько контуров дробеструйных контуров, в каждом из которых находится обычно около 500 кг дроби.

Как и другие очистительные устройства, дробеструйные установки могут работать эффективно только при регулярном их применении. Большие отложения дробь удалять не может, кроме того отдельные дробинки могут застревать в этих отложениях, после чего очистка поверхностей нагрева становится ещё более трудной.

2.9.3. Очистка регенеративных воздухоподогревателей

Для очистки регенеративных воздухоподогревателей не применяют дробеструйные устройства, поскольку дробинки могли бы застревать в узких щелях между пластинами. Такой воздухоподогреватель очищают паровой обдувкой при работе или обмывкой при остановке. Одним из основных условий, обеспечивающих возможность длительной работы аппарата воздухоподогревателя без значительного отложения золы или сажи, является предварительный подогрев поступающего в него воздуха с тем, чтобы избежать отложения влаги (росы) на пластинах.

Схемы дробеочистительных установок, изображенных относительно котла в увеличенном виде

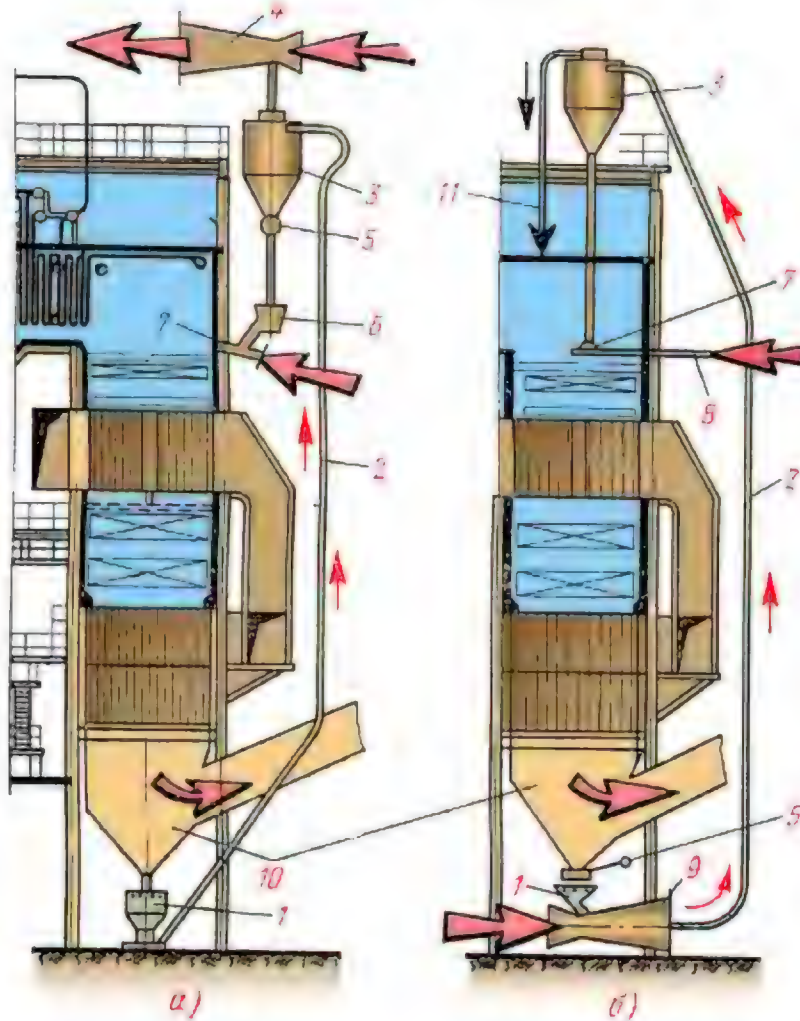


Рис. 66

а – установка, работающая под разрежением и оборудованная пневматическим забрасывателем типа «ВТИ-Ильмарине»; *б* – установка, работающая при избыточном давлении, с верхним забрасывателем дробы: 1 – бункер для дробы; 2 – трубопровод для подачи дробы вверх; 3 – дробеуловитель (циклон); 4 – эжектор; 5 – автоматический клапан (мигалка); 6 – тарельчатый питатель; 7 – разбрасыватель дробы; 8 – подача и отвод от разбрасывателя охлаждающей воды; 9 – инжектор; 10 – выход из котла дымовых газов; 11 – выход воздуха из пылеуловителя

Полезными оказываются те же мероприятия, какие применяют для предотвращения коррозии – рециркуляция части горячего воздуха к дутьевым вентиляторам либо установка калориферов в воздухопроводах.

Длительное отложение влаги на пластинах приводит иногда к столь интенсивному отложению на них сажи, что для очистки воздухоподогревателя приходится заменять пиковые обмывочные устройства более мощными.

На многих электростанциях, работающих на мазуте, очистку регенеративных воздухоподогревателей производят на ходу котлов путем поочередного отключения по воздуху каждого аппарата на 20÷30 минут. За это время ды-

мовые газы нагревают весь ротор, благодаря чему испаряется часть содержащихся в саже веществ и переставшая быть липкой сажа выдувается газами из воздухоподогревателя.

Такую очистку выполняют обычно ежедневно.

Отсутствие отложенной сажи позволяет удлинять компанию котлов. Однако для вращения высоконагретого ротора приходится увеличивать зазоры в уплотнительных устройствах, вследствие чего возрастает утечка воздуха, увеличивается нагрузка тяго-дутьевых машин и немного снижается экономичность работы котлов.

Вопросы к размышлению:

1. Виды (типы) обмуровок?
2. Назначение обмуровки?
3. Для чего производится очистка поверхностей нагрева?
4. Оборудование для очистки конвективных поверхностей нагрева?



2.10. Арматура котлов

2.10.1. Вентили и задвижки

Арматурой котла называют находящиеся под давлением рабочей среды (воды и пара) устройства для управления движением этой среды. Наиболее применяемыми типами арматуры являются вентили, задвижки и клапаны.

К арматуре причисляют и водоуказательные колонки барабанных котлов. На рис. 67 показана распространенная конструкция вентиля на давление $100 \div 140 \text{ кгс/см}^2$.

Через корпус вентиля проходит вода или пар, расход которых регулируется поднятием или опусканием тарелки и изменением расстояния между тарелкой и седлом.

Перемещение тарелки осуществляется путем поворота штурвала, соединенного посредством конических шестерен со втулкой.

Внутри втулки вставлена верхняя нарезная часть шпинделя. Когда втулка с шестерней вращается вокруг своей оси, шпиндель удерживается от вращения направляющей поверхностью или планкой и перемещается по резьбе вверх или вниз.

Вместе со шпинделем перемещается присоединенная к его нижнему концу тарелка.

Штурвал, шестерни и втулка присоединены к мостику (траверсе), укрепленному на крышке вентиля. Уплотнение места выхода шпинделя через крышку производится сальником с набивкой.

Регулировать количество пропускаемых через трубопровод воды или пара можно при движении их через вентиль в любом направлении.

Вентиль высокого давления с коническим приводом

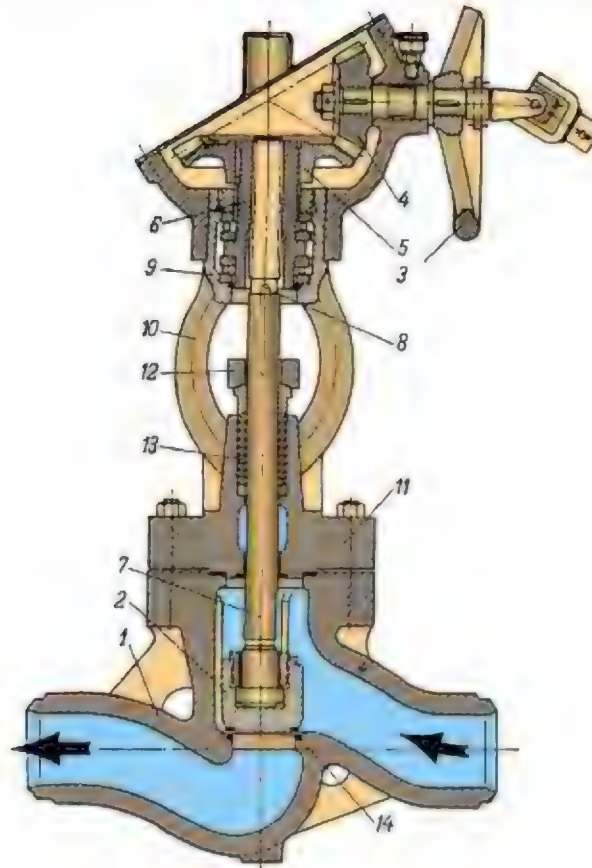


Рис. 67

1 – корпус; 2 – тарелка; 3 – штурвал для ручного управления, к оси которого присоединена штанга дистанционного управления; 4 и 5 – шестерни; 6 – втулка; 7 – шпindel; 8 – направляющая поверхность; 9 – мостик (траверса); 10 – опорная колонка; 11 – крышка; 12 – сальник; 13 – набивка сальника; 14 – седло.

Но от направления течения жидкости зависит удобство открытия и закрытия вентилей.

Если жидкость подается под тарелку, то есть сначала проходит через седло, а потом омывает тарелку, то значительно облегчается открытие вентилей, но требуется большее усилие для полного его закрытия.

Подача жидкости под тарелку удобна также тем, что в периоды, когда вентиль закрыт, разгружается сальник.

Если жидкость подавать в обратном направлении, то есть на тарелку вентилей, то затрудняется его открытие из полностью закрытого положения.

Но закрытие вентилей получается более плотным вследствие использования давления жидкости для прижатия тарелки к седлу. Это особенно ценно для арматуры высокого давления.

Обычно в вентилей малого диаметра жидкость подается под тарелку. У вентилей большого диаметра осуществляется подача жидкости на тарелку, а для облегчения открытия применяют разгрузку вентилей путем отвода воды

мимо вентиля по трубе малого диаметра (по байпасу) или путем установки в средней части основной тарелки вентиля разгрузочной тарелки малого диаметра.

Схема открытия вентиля с разгрузочной малой тарелкой

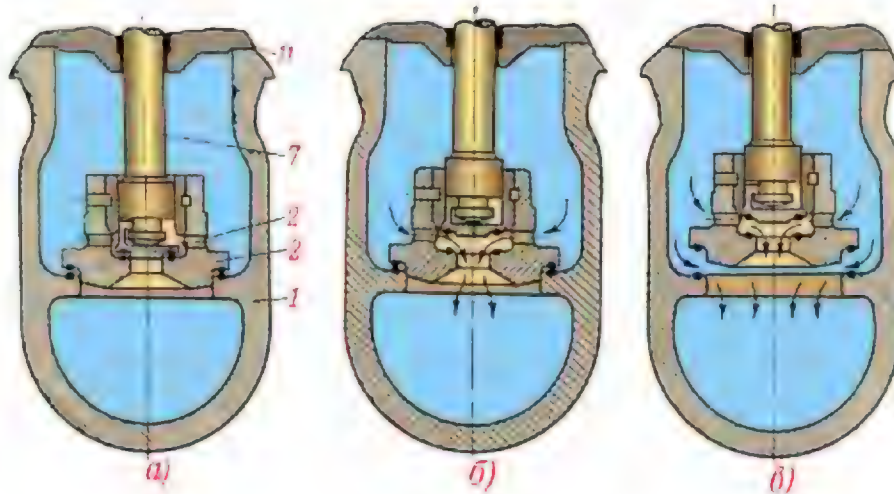


Рис. 68

а – закрытый вентиль; *б* – открытие малой тарелки; *в* – полное открытие вентиля: 1 – корпус; 2 – тарелка; 3 – штурвал для ручного управления, к оси которого присоединена штанга дистанционного управления; 4 и 5 – шестерни; 6 – втулка; 7 – шпindel; 8 – направляющая поверхность; 9 – мостик (траверса); 10 – опорная колонка; 11 – крышка; 12 – сальник; 13 – набивка сальника; 14 – седло

На рис. 68 показано, как при подъеме шпинделя сначала происходит подъем малой тарелки на определенную высоту и как затем она поднимает за собой основную тарелку.

Неплотность затвора вентиля чаще всего вызывается попаданием между седлом и тарелкой песка, окалина или других посторонних предметов.

В отличие от вентиля, которыми изменяют (регулируют) количество проходящей рабочей среды, задвижки устанавливают только для того, чтобы иметь возможность полностью прекратить ее подачу.

Механизм задвижки допускает только два положения: полное открытие либо полное закрытие.

У задвижек и вентилях одинакова верхняя часть – привод для вращения шпинделя и конструкция сальника.

Как у вентиля так и у задвижки может быть установлен вертикальный штурвал с коническим приводом (рис. 67) или горизонтальный, соединенный со шпинделем цилиндрическими шестернями, показанными пунктиром на рис. 69.

Дополнительная паразитная шестерня служит для того, чтобы сохранить обычную резьбу на шпинделе и в то же время обеспечить привычное для людей вращение штурвала по часовой стрелке при закрытии арматуры вручную.

К нижнему концу шпинделя присоединены две тарелки, которые при опускании прижимаются к седлам (как показано на рис.69), а при открытии задвижки поднимаются вместе со шпинделем в верхнюю часть корпуса.

Задвижка с встроенной крышкой при высоком давлении рабочей среды

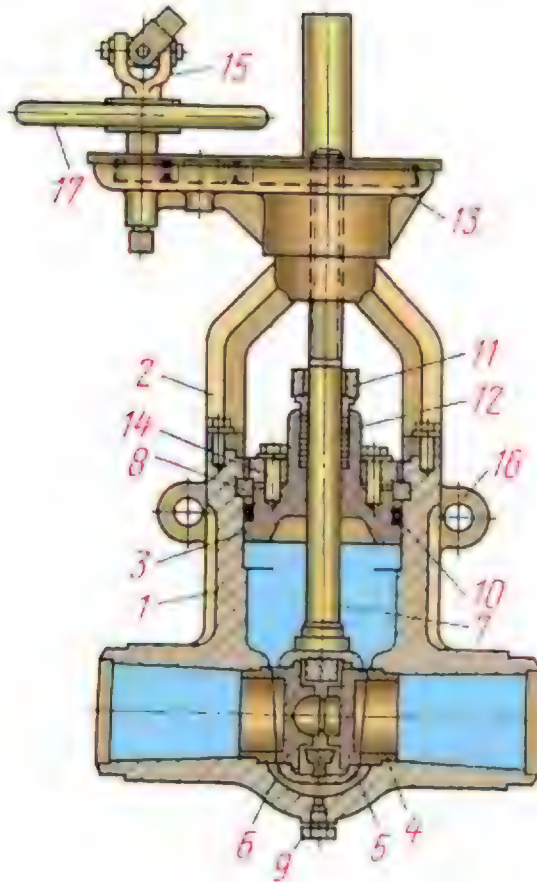


Рис. 69

1 – корпус; 2 – бугель; 3 – крышка; 4 – седло; 5 – тарелка; 6 – грибок; 7 – шпиндель; 8 – разъемное кольцо; 9 – пробка для соединения водяного объема корпуса с байпасной линией; 10 – набивка периферийного сальника крышки; 11 – сальник шпинделя; 12 – набивка сальника шпинделя; 13 – коробка для передаточных шестерен; 14 – опорный диск; 15 – шарнир для дистанционного управления; 16 – рым для транспортировки задвижки; 17 – штурвал для ручного управления.

Симметричное расположение седел и тарелок внутри задвижки позволяет направлять через нее воду или пар в любую сторону.

Если задвижка полуоткрыта, то ее седла омываются рабочей средой неравномерно, из-за чего происходит их быстрое испарение.

Задвижку нельзя применить для регулирования количества проходящей рабочей среды.

На рис. 67 изображена прикрепленная шпильками съемная крышка вентиля. На рис. 69 крышка находится внутри корпуса и под давлением воды сжимает кольцевую набивку. При разборке во время ремонта отвинтив шпиль-

ки поднимают опорный диск и, опустив немного крышку, вынимают разъемное кольцо.

При закрытии водяной задвижки ее корпус остается наполненным водой. Когда открывают подачу воды по линии малого диаметра (байпасу), то вода внизу корпуса расширяется от нагревания и с большой силой прижимает тарелки к седлам.

Возможно повреждение седел и даже растрескивание корпуса задвижки. Во избежание этого водяной объем корпуса через нижнюю пробку соединен с пространством между двумя вентилями на байпасе.

Тугое поворачивание шпинделя вентиля или задвижки (заедание) чаще всего объясняется следующими причинами:

- чрезмерным зажатием при закрытии арматуры;
- слишком большой затяжкой сальника и трением между его набивкой и шпинделем;
- перекос шпинделя;
- снятием резьбы шпинделя или втулки.

Арматуру высокого давления присоединяют к трубопроводу на сварке.

2.10.2. Клапаны

Клапаном называется запорный или регулирующий орган автоматического действия.

У паровых котлов имеются обратные, питательные, редукционные и предохранительные клапаны.

Обратный клапан препятствует движению рабочей среды в обратном направлении. Так, например, обратные клапаны на питательных линиях закрываются при аварийном падении давления в питательных трубопроводах и препятствует выпуску воды из котла.

По конструкции обратные клапаны подразделяют на подъемные и поворотные.

В подъемных клапанах (рис. 70, а) запорным органом является тарелка (золотник) 2, хвостовик которой входит в направляющий канал прилива крышки 1.

В поворотных клапанах (рис. 70, б) тарелка 6 поворачивается вокруг оси 7 и перекрывает проход.

Обратные клапаны устанавливают в котельных обычно на напорных линиях центробежных насосов, на питательных линиях перед котлом для пропуска воды только в одном направлении и в других местах, где имеется опасность обратного движения среды.

Питательный клапан служит для автоматического регулирования питания котла в соответствии с расходом пара.

В клапанах, устанавливаемых на современных котлах, вода прижимает к седлу вертикальный шибер.

Обратные клапаны

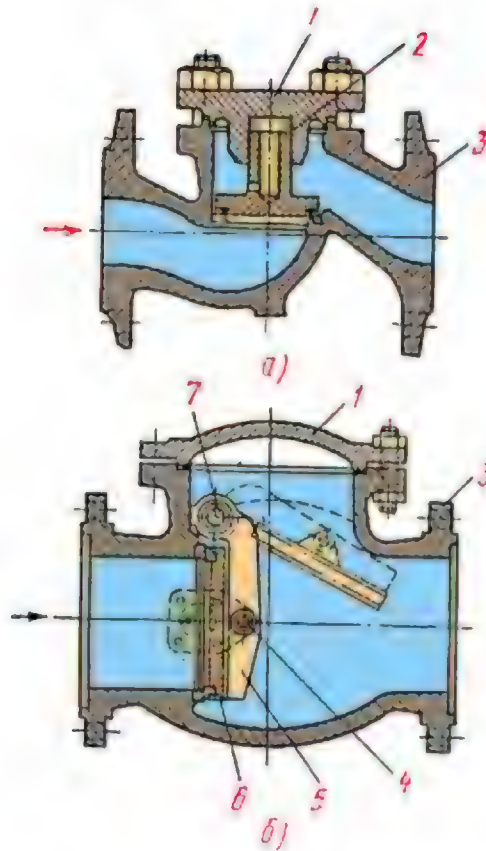


Рис. 70 а

а – подъемный; б – поворотный: 1 – крышка; 2 – золотник; 3 – корпус; 4 – ось клапана; 5 – рычаг; 6 – тарелка; 7 – ось рычага.

Соприкасающиеся поверхности седла и шиберы покрыты наплавленным и затем отполированным слоем твердой высоколегированной стали. На рисунке клапан изображен в закрытом положении. По мере перемещения шиберы вверх все большее число отверстий в седле открывается и пропускает воду, количество которой растет почти пропорционально перемещению шиберы.

Нижняя часть регулирующего питательного клапана

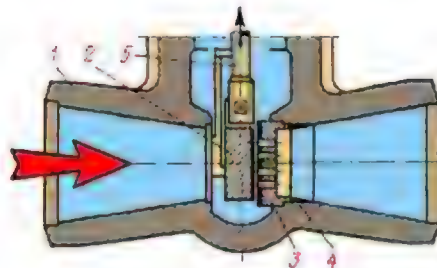


Рис. 70 б

1 – корпус; 2 – шибер; 3 – седло; 4 – слой металла, наплавленного за седлом; 5 – шток. Стрелка показывает направление движения воды.

Регулирующий клапан служит для снижения давления пара. Такой клапан ставится, например, на трубопроводе собственных нужд, редукционно – охлаждающих установках (РОУ, БРОУ) и других устройствах.

Тарелка клапана прижимается к седлу пружиной или грузом. Натяг пружины или давление на тарелку от груза регулируют таким образом, чтобы пар, пройдя через редукционный клапан, имел необходимое давление.

Задвижки

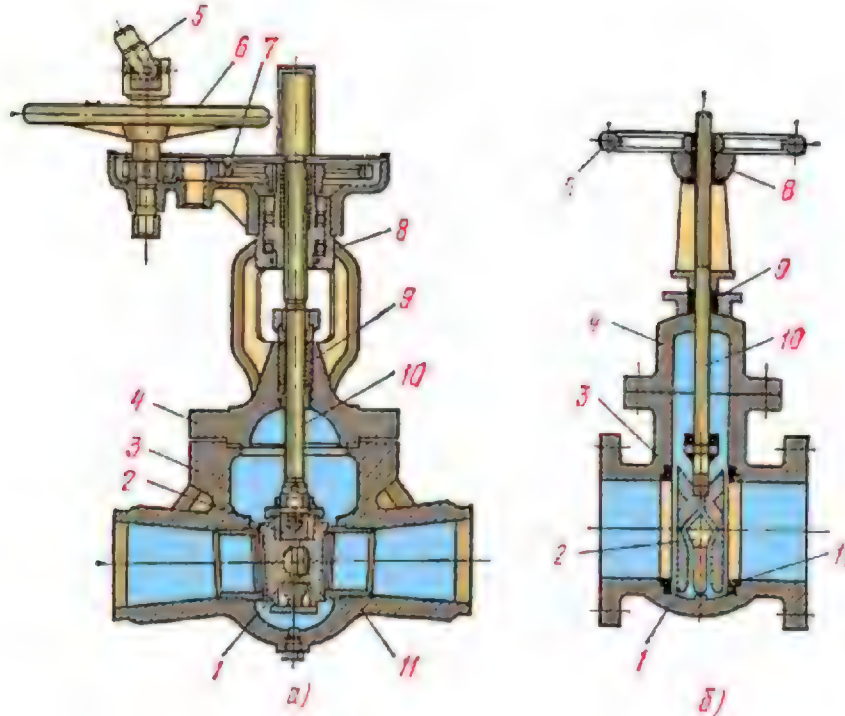


Рис. 71а

а – клиновая бесфланцевая с приводом; *б* – параллельная фланцевая: 1 – уплотнительные диски; 2 – распорное устройство; 3 – корпус; 4 – крышка; 5 – рычаг дистанционного привода; 6 – маховик; 7 – зубчатое колесо; 8 – траверса; 9 – сальниковое уплотнение; 10 – шпindel; 11 – уплотнительное кольцо.

Предохранительный клапан. Он представляет собой автоматически действующее устройство для выпуска пара из котла в случае, если по какой-либо причине давление в котле превышает допустимое.

Предохранительные клапаны большей частью изготовляют вентильного типа. В зависимости от того, чем уравнивается сила, создаваемая давлением среды на тарелку запорного устройства – давлением груза или пружины, клапаны выполняют грузовыми или пружинными (рис. 72).

Вентили

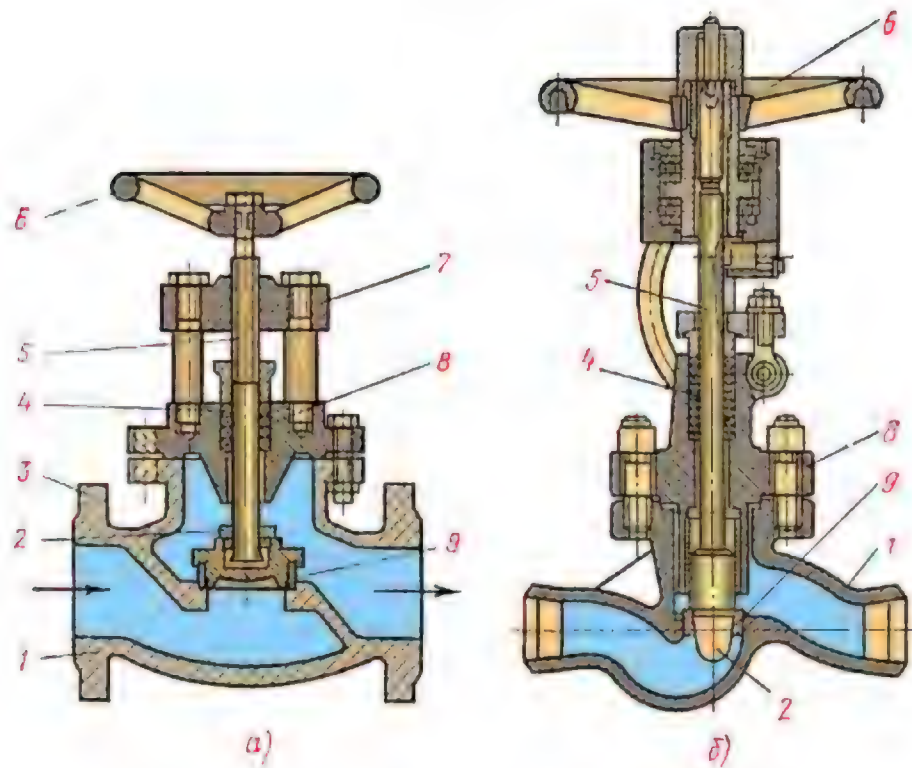


Рис. 71б

а – запорный фланцевый; *б* – регулирующий: 1 – корпус; 2 – затвор; 3 – фланец; 4 – сальниковое уплотнение; 5 – шпindel; 6 – штурвал (маховик); 7 – траверса; 8 – крышка; 9 – клапанное седло.

Предохранительные клапаны

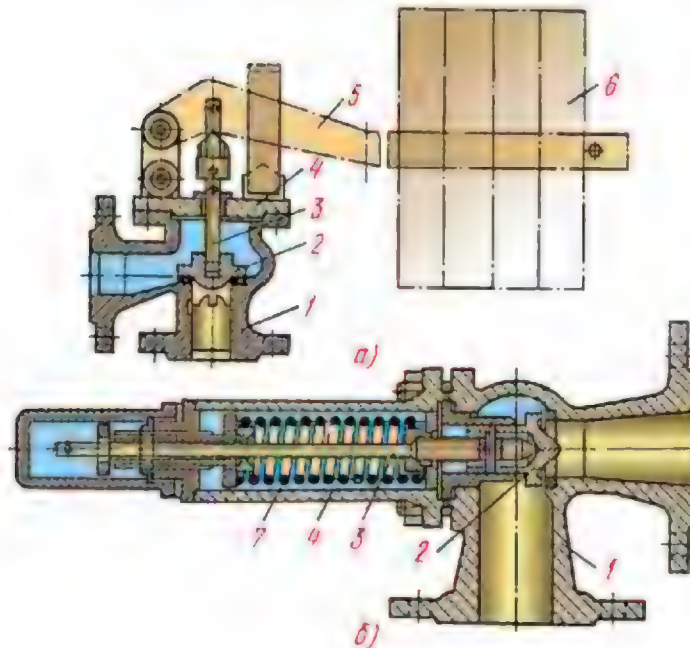


Рис. 72

а – однорычажный; *б* – пружинный: 1 – корпус; 2 – затвор; 3 – шпindel; 4 – крышка; 5 – рычаг; 6 – груз; 7 – пружина

Грузовые клапаны в зависимости от количества тарелок бывают одно или двухрычажными.

Большое распространение на отечественных электростанциях получили импульсные предохранительные устройства.

У барабанных котлов опасно чрезмерное повышение давления как в барабане, так и на выходе пара из пароперегревателя. У таких котлов из двух импульсных клапанов один соединен с паровым объемом барабана, а другой – с коллектором перегретого пара (рис. 73).

Но оба главных клапана должны быть установлены только на выходе пара из котла, так как через клапан, установленный на барабане, часть пара удалялась бы из котла, не проходя пароперегреватель, что приводило бы к опасному повышению температуры остального пара.

Упрощенная схема импульсно-предохранительных устройств котла высокого давления с естественной циркуляцией воды

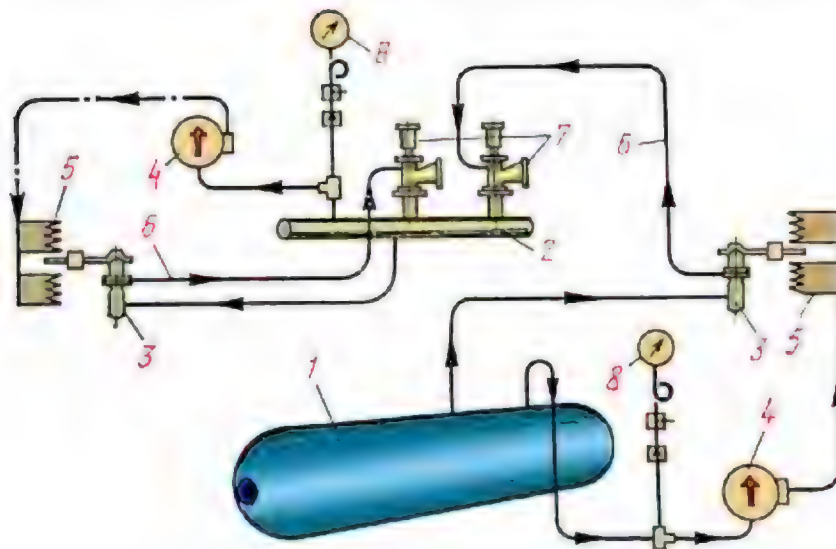


Рис. 73

1 – барабан; 2 – камера перегретого пара; 3 – импульсный клапан; 4 – электроконтактный манометр; 5 – электромагнит импульсного клапана; 6 – импульсная трубка; 7 – главный предохранительный клапан; 8 – манометр

Предохранительные клапаны любого типа открываются при резких нарушениях условий эксплуатации котельного агрегата. Иногда котлы работают весьма длительное время без открытия этих клапанов.

Но когда котел находится под давлением, предохранительные клапаны должны непрерывно быть в полной исправности и рабочей готовности. Поэтому их проверка должна быть регламентирована.

2.10.3. Водоуказательные приборы (указатели уровня)

Водоуказательные приборы служат для контроля за уровнем воды в барабане котла. Они разделяются на водоуказательные колонки, расположенные вблизи барабана и соединенные трубками с водяным и паровым объемами, и

на сниженные указатели уровня, расположенные вблизи рабочего места машиниста.

Кроме водоуказательных приборов котлы оборудуют сигнализирующими приборами, которые привлекают внимание машиниста при значительном отклонении уровня воды в барабане от заданного положения.

Кроме того, имеются защитные устройства, автоматически останавливающие котел при чрезмерном и опасном повышении или снижении уровня воды в барабане.

Водоуказательная колонка. В узком пространстве между вертикальными стеклами колонки поддерживается уровень воды, близкий к ее среднему уровню в барабане.

По уровню воды в колонке раньше регулировали ручную подачу воды в котел во время эксплуатации.

На современных электростанциях теперь по водоуказательным колонкам каждую смену проверяют правильность показаний дистанционных приборов.

Кроме того иногда подачу регулируют вручную по колонкам во время растопки котла.

У котлов со ступенчатым испарением устанавливают не менее чем по одной колонке для чистого и каждого из солевых отсеков. Необходимо систематически проверять уровни воды во всех колонках. Регулируют уровень обычно по колонкам, присоединенным к чистому отсеку.

Яснее всего уровень воды виден в водоуказательных колонках котлов среднего давления, у которых переднее стекло имеет гофрированную поверхность (стекло Клингора).

В котлах высокого давления стекло, соприкасаясь с водой, теряет прозрачность.

Поэтому в котлах высокого давления стекла Клингора не применяют, а используют для этой цели набор слюдяных пластин.

Для улучшения видимости уровня колонку просвечивают, часть применяют рефлектор.

Узкие прорезы расположены друг относительно друга таким образом, что при перемещении уровня воды и его исчезновении в одной из прорезей он отчетливо виден в следующей (рис. 73а).

В нижней части водоуказательного прибора доступ воды можно закрыть верхним из двух находящихся там вентилях или быстродействующим краном.

Кран не создает такой плотности, как вентиль, но весьма полезен при необходимости немедленного отключения колонки. В верхнем конце колонки также имеются вентиль и кран, сообщающие колонку с паровым пространством барабана, но продувочный вентиль установлен только с водяной стороны.

Обслуживание водоуказательных приборов

Причины неправильных показаний водоуказательных колонок могут быть различны.

Иногда происходит засорение паровой или водяной линии, соединяющей водоуказательную колонку с барабаном. При частичном засорении уро-

вень воды в колонке медленно колеблется. При полном засорении он остается неподвижным.

Пар внутри ВУК непрерывно конденсируется, поэтому при частично засорении водяной линии уровень воды за стеклом оказывается выше, чем в барабане.

При полном засорении паровой или водяной линии ВУК быстро заполняется водой. Засорение устраняют продувкой колонки.

Продувка ВУК состоит из трех операций:

- закрывают верхний паровой кран и, открыв спускной ventиль, продувают водяную трубку;
- закрывают водяной кран, открывают паровой кран и продувают паровую трубку через ВУК;
- закрывают спускной ventиль и, открыв водяной кран, проверяют быстроту подъема уровня воды в колонке.

Водоуказательная колонка барабанного котла высокого давления

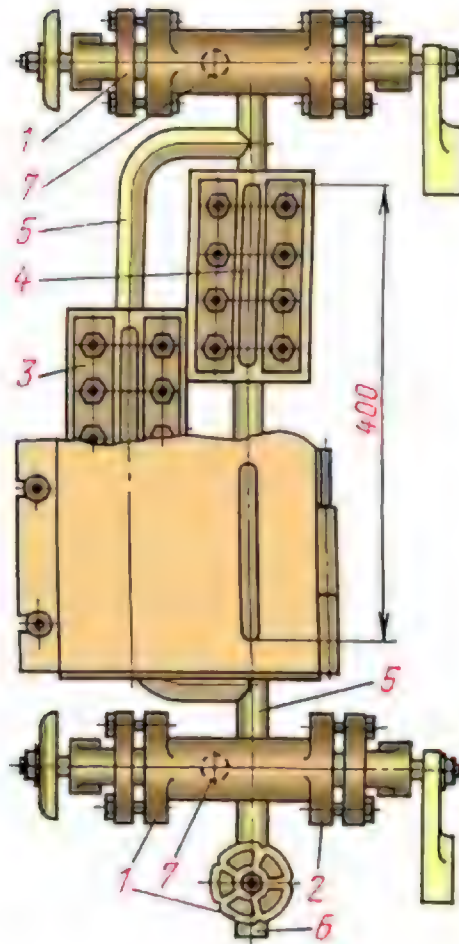


Рис. 73а

1 – ventиль; 2 – быстродействующий кран; 3 – рамка со стеклами; 4 – прорезь в рамке, в которую виден уровень воды; 5 – трубка между рамкой и запорной арматурой; 6 – линии для продувки колонки; 7 – горизонтальная трубка к барабану котла

Медленный подъем уровня свидетельствует о засорении водяной трубки. В том случае продувку следует повторить.

Пропуск арматуры приводит к снижению давления в той зоне, где пар или вода выходят наружу.

При пропуске водяной арматуры уровень воды в колонке понижается, при пропуске паровой арматуры повышается.

Подтяжка сальников может производиться на ходу котла. При плотных запорных вентилях допустимо отключение колонки работающего котла для ремонта.

Но иногда ремонт возможен только после останова котла.

Искажение показаний может объясняться различными дефектами внутрибаранных устройств, их неправильной конструкцией или нетщательным монтажом.

Регулирование питания котла вручную

Регулирование вручную уровня воды в барабане производится чаще всего в двух случаях: при неисправности автоматических регуляторов и при растопке котла до включения в работу этих регуляторов.

Управление клапанами осуществляется с рабочего места машиниста, по дистанционным указателям уровня.

При пониженном давлении приходится учитывать искажение показаний дистанционных приборов.

Широкое внедрение автоматических регуляторов привело к тому, что на электростанциях уже нет людей которые привыкли ежедневно регулировать уровень воды вручную. Это усложняет условия поддержания уровня в тех сравнительно редких случаях, когда автоматические устройства не могут быть включены.

При ручном регулировании уровня воды необходимо учитывать следующее: ошибочным является представление о том, что для безопасной работы котла уровень воды в барабане достаточно держать все время лишь в пределах его прямой видимости в ВУК. Такое регулирование раньше или позже неминуемо приведет к аварийной остановке котла. Действительные правила гораздо более жестки:

- Уровень воды нужно поддерживать около нормального и не допускать его отклонения за отметки высшего и низшего уровней.
- Отметки предельных положений уровня желательно иметь и на сниженных водоуказательных приборах.
- Контроль за положением уровня воды в барабане котла производится в основном по ВУК чистого отсека ступенчатого испарения, по этим колонкам сверяют и снижение водоуказательные приборы.

2.11. Контроль за работой котла

2.11.1. Основные измерительные приборы

Измерение расхода воды и пара. Измерение расхода производится с помощью диска (диафрагмы) с центральным отверстием сравнительно малого диаметра, вставляемого между двумя фланцами на трубопроводе.

При движении через отверстие в диске воды или пара давление снижается тем больше, чем выше их скорость.

Чем больше разность давлений при движении воды или пара через диафрагму, тем больше расход.

Показания паромера могут быть искажены, если давление или температура пара отличается от расчетного значения, поскольку перепад давления в диафрагме возрастает с увеличением плотности пара.

Гораздо меньше искажаются в аналогичных условиях показания водомера.

Измерение давления воды и пара.

Наиболее распространены манометры с серповидной трубчатой пружинной овального сечения (рис. 74).

Один конец пружины закреплен в кожухе манометра, другой запаян и может свободно перемещаться.

Ниппель в нижней части манометра соединяет пружину с находящимися под давлением барабаном или коллектором либо трубопроводом.

Внутреннее давление стремится выпрямить изогнутую трубчатую пружину. При этом перемещается ее свободный запаянный конец, который через передаточные детали поворачивает указывающую стрелку.

Манометр работает более надежно, если при измеряемом давлении его трубчатая пружина растянута не полностью, а указывающий конец стрелки находится в верхней части шкалы. На шкале манометра нанесена красная черта, указывающая максимально допустимое давление.

За давлением в котле следят по сниженному манометру, находящемуся у рабочего места машиниста и соединенному длинной трубкой с барабаном или коллектором в верхней части котельного агрегата.

Давление в этом манометре превышает давление вверху котла на вес столба воды в опускной соединительной трубке, то есть примерно на 1 кгс/см^2 на каждые 10 м высоты (на величину Δp на рис. 74, в.).

Трехходовой кран перед манометром дает возможность отключать его, а также проверять его погрешность, присоединяя контрольный манометр.

Участок в виде петли в соединительной трубке предотвращает нагревание манометра водой или паром из котла.

Показания манометра значительно искажаются при наличии даже небольшой неплотности на трассе между ним и котлом (например, при парении в ниппеле или трехходовом кране).

Основным элементом изображенного на рис. 74, б самопишущего прибора является тонкостенная гофрированная трубка (сильфон), у которой внутренняя полость соединена с внутренним объемом барабана или другого нахо-

дящегося под давлением элемента котла. С увеличением давления сильфон удлиняется и поворачивает рычажки, соединенные со стрелкой (пером), конец которого чертит линию на диаграмме.

Измерение и регистрация давления в котле

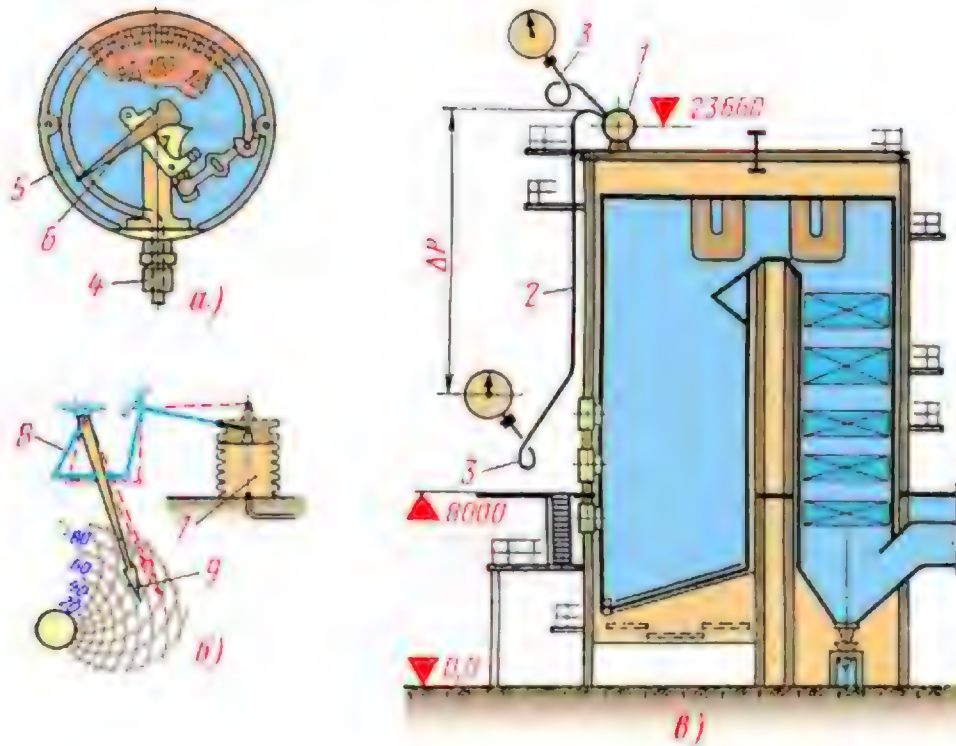


Рис. 74

a – манометр с трубчатой пружиной; *б* – схема самопишущего манометра (пунктиром показано положение его элементов при повышении давления в котле); *в* – схема включения манометров в барабан котла (Δp – высота столба воды, увеличивающего давление в сниженном манометре): 1 – барабан котла; 2 – соединительная трубка к сниженному манометру; 3 – участок соединительной трубки в виде петли; 4 – присоединительный ниппель манометра; 5 – трубчатая пружина манометра; 6 – стрелка манометра; 7 – гофрированная трубка (сильфон); 8 – система рычажков; 9 – перо, фиксирующее показания прибора на диаграмме

Измерение температуры

Температуру до 550 °С можно измерять ртутными термометрами, для которых имеются специальные гильзы в коллекторах пароперегревателей и экономайзеров.

Ртутными термометрами пользуются только для проверки показаний постоянно действующих приборов.

Объясняется это тем, что показания такого термометра трудно передать от места измерения к тепловому щиту машиниста котла.

Для измерения температуры используют пирометры.

Пирометр состоит из трех основных элементов: чувствительного (термопары), измерительного (гальванометра) и соединительных проводов.

Действие термопары основано на том, что слой двух различных металлов или сплавов при нагревании может считать источником слабого электрического тока.

На рис. 75 показана схема действия термопары, состоящей из спая и двух проводов, изготовленных из различных металлов или сплавов.

Схема действия термопары

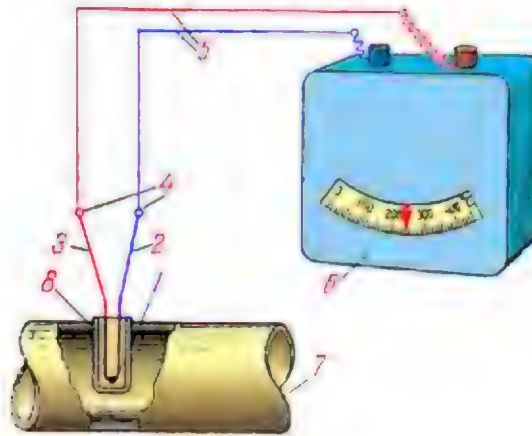


Рис. 75

1 – спай термопары; 2 и 3 – разнородные провода, составляющие термопару; 4 – холодный спай; 5 – соединительные провода; 6 – гальванометр; 7 – труба, в которой измеряют температуру; 8 – штуцер в трубе

Возникающая в спае электродвижущая сила (э.д.с.) передается соединительными проводами и измеряется гальванометром.

Э.д.с. в спае почти пропорциональна его температуре. Термопары и гальванометры для теплового щита электростанции подбирают так, чтобы на шкале каждого гальванометра показывалась непосредственно измеряемая температура. Но в спаях 4 также возникает э.д.с, действие которой противоположно действию основного спая 1.

Например, вода в трубе нагрета до $250\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температура холодного спая 4 равна $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Гальванометр измеряет э.д.с. соответствующую температуре $250 - 40 = 210\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Поправку на температуру холодного спая обычно учитывают при настройке каждого прибора.

В производственных условиях, как правило, можно пользоваться непосредственно показаниями гальванометра.

Но наличие холодных спаев усложняет пользование термопарами, поскольку температура наружных их концов не остается постоянной и колеблется вместе с температурой помещения котельной в зоне расположения термопар.

Для уменьшения погрешности измерения термопару удлиняют и выносят концы ее в более удобное место.

Для наращивания термопар применяют специальные компенсационные провода.

При измерении температуры воды и пара в трубе врезанный в нее штуцер должен быть закрыт сверху крышкой или залит какой-либо жидкостью. В противном случае термopара будет давать заниженные показания.

Регистрирующие приборы бывают однотоочечные, предназначенные для записи показаний одного прибора, и многотоочечные. В первых результаты измерений фиксируются на ленте непрерывно, у вторых запись производится печатающей кареткой в виде точек (иногда разног цвета) с проставленными возле них условными номерами присоединенных к ним измерительных приборов.

Иногда такой прибор снабжают каким-либо дополнительным электрическим или пневматическим устройством для автоматического регулирования работы котла или для сигнализации при отклонениях от правильного режима эксплуатации.

Определение качества воды и пара.

Ещё недавно все анализы проб воды и пара производились периодически обычными химическими методами. Такой контроль считается недостаточным и современных электростанциях, поскольку при больших промежутках времени между анализами могут длительно оставаться незамеченными отдельные нарушения водного режима.

Контроль за содержанием солей в паре, котловой и питательной воде имеет важное значение в эксплуатации энергетических установок. Он должен осуществляться при помощи специальных приборов- солемеров с автоматической регистрацией измерений.

Пробы воды и перегретого пара отбираются во всех котлах из средней части сечения трубы.

В холодильниках вода и пар охлаждаются проточной водой.

Охлажденная вода и пар должно вытекать из холодильников непрерывно, чтобы не было искажения результатов отбираемых проб из-за коррозии трубок.

2.11.2. Размещение приборов на тепловом щите

Мнемонические схемы. Оператор, находясь на тепловом щите котла или всего энергоблока, должен систематически следить и анализировать показания многочисленных и разнообразных приборов. При отклонениях от нормального режима оператор должен быстро принимать решения по изменению условий работы котла и осуществлять необходимые переключения. Наиболее четко он должен действовать во время аварийных ситуаций.

При наличии на тепловом щите большого числа различных приборов необходимо разместить их таким образом, чтобы оператор мог легко заполнить место каждого из них и быстро находить его даже в наиболее напряженные периоды работы.

Наиболее удобным считается расположение элементов контроля и управления соответственно протеканию технологических процессов в котле. При этом на тепловом щите изображают упрощенные мнемонические (то есть

удобные для запоминания) схемы, например; схему питательных линий, схемы пароперегревателя с расположением на ней всех устройств для регулирования температуры пара и т.п.

Все имеющиеся на щите измерительные приборы и органы управления размещают вблизи мест, где на мнемонической схеме изображены соответствующие элементы оборудования. Вблизи таких схем устанавливают и световую автоматическую сигнализацию, которая, как и звуковая, должна привлекать внимание оператора при отклонениях от правильного режима эксплуатации.

С мнемоническими схемами должно быть увязано и расположение лампочек и других приборов, сигнализирующих о включении и отключении отдельных механизмов, а также о степени открытия различных клапанов, шиберов, направляющих аппаратов и других регулирующих устройств.

Разделение теплового щита.

Дальнейшее упрощение условий труда оператора достигается путем разделения теплового щита на две части. На наклонной поверхности ближнего и оператору невысокого щита (пульта управления) размещают кнопки и клавиши (ключи) управления, а также минимальное число измерительных и сигнальных приборов. За пультом управления устанавливается вертикальная панель, на которой размещают остальные приборы, в том числе приборы, регулируемые и вручную.

Контроль по вызову.

На временных электростанциях объем необходимых оператору сведений настолько велик, что например, только для приборов теплотехнического контроля серийных котлов при раздельном размещении каждого прибора понадобился бы тепловой щит длиной более 12 метров.

Обслуживание такого щита было бы затруднительным.

Поэтому на тепловых щитах устанавливают переключателем, с помощью которых оператор может соединить один и тот же указательный прибор с каждым из нескольких измерительных устройств (например, с каждой из нескольких термопар).

Иногда на одном указывающем приборе перед оператором могут поочередно появляться различные шкалы с делениями, соответствующие включаемым «по вызову» характеристикам работы котла.

При этом поверхность теплового щита может быть еще более сокращена.

2.12. Управление работы котла

2.12.1. Дистанционно управление

Значительная часть операций по регулированию работы котла производится системами автоматического регулирования (САР). Но такие операции, как открытие и закрытие различных вентилей, задвижек и шиберов, включение и отключение механизмов и др., осуществляют машинистом. Отдельные

операции выполняются вращением штурвала или поворотом рукоятки у самих задвижек и шиберов. Другими шиберами и задвижками управляют на большом расстоянии посредством длинных торов, тяг и вращаемых вручную штанг.

Более оперативным и не связанным с затратой физического труда является дистанционное управление со щита управления котлом или энергоблоком.

Схема дистанционного управления задвижкой на питательной линии

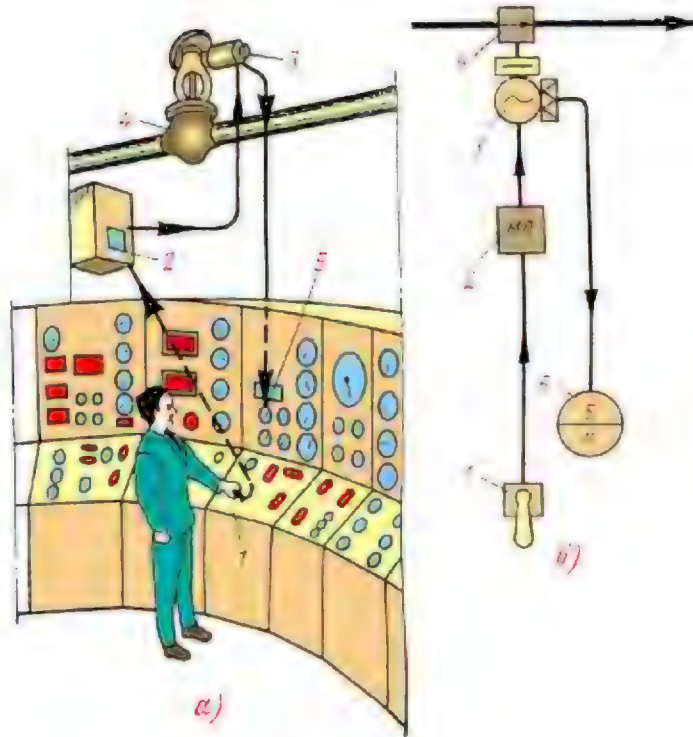


Рис. 76

а – схема передачи электрических сигналов; *б* – изображение схемы на чертеже; 1 – ключ управления; 2 – магнитный пускатель; 3 – электродвигатель; 4 – регулирующий орган (задвижка на питательной линии); 5 – указатель положения регулирующего органа

В том случае оператор включает электродвигатель задвижки или другого регулирующего органа поворотом ключа (клавиши) управления.

При повороте ключа ставится под напряжение двигатель МЭО. МЭО через механический привод соединен с задвижкой, положение которой оператор может определить по электрическому указателю положения УП, расположенному перед ним шибера.

Такое заблокированное управление несколькими электродвигателями ещё более уменьшает занятость вахтенных работников и сокращает время выполнения операций.

2.12.2. Автоматическое регулирование

Основные элементы системы автоматического регулирования.

На упрощенном примере рассматривается система автоматического регулирования (так называемая САР) разрежения в топке.

В верхней части топочной камеры нужно поддерживать небольшое разрежение, около 2 мм.вод.ст. При его увеличении или уменьшении должно соответственно изменяться положение лопаток направляющих аппаратов двух дымососов и таким путем регулироваться их производительность.

Когда разрежение в верхней части топки отклоняется от требуемого значения, возникает сигнал рассогласования (импульс), который приводит в действие всю САР и прекращаются после того, как требуемое разрежение опять восстанавливается.

Для автоматизации тепловых процессов на электростанциях применяют электронные автоматические регуляторы. Основные элементы регулятора следующие:

Первичный прибор (датчик) измеряет регулируемую величину и преобразует ее в электрический сигнал.

В нашем примере датчиком является дифференциальный тягомер ДТ-4 (рис. 77).

Схема автоматического регулирования тяги котла

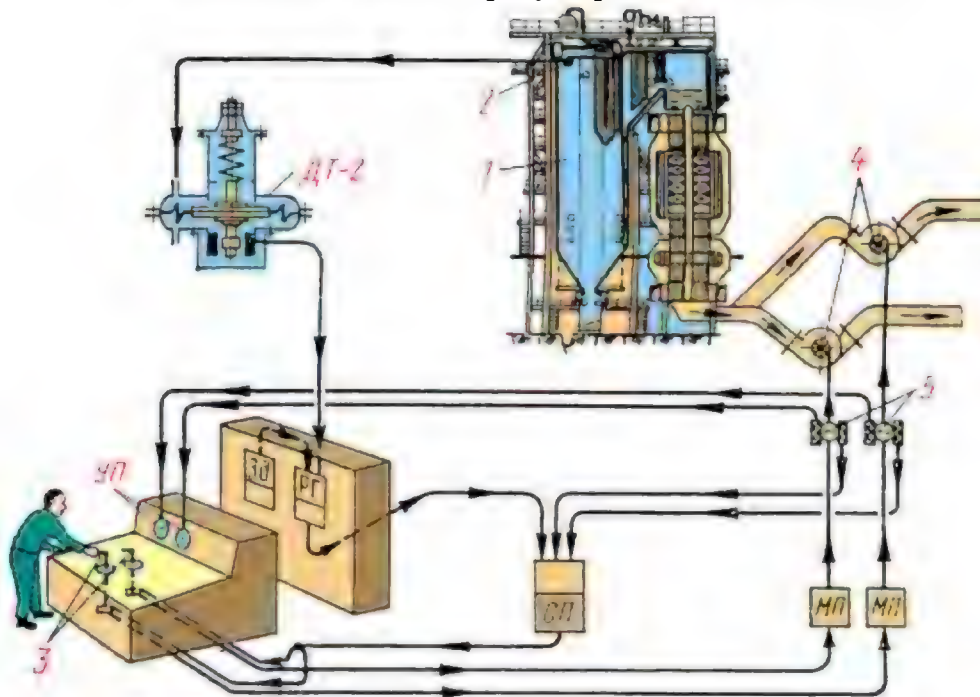


Рис.77

ДТ-2 – дифференциальный тягомер; Зд- задатчик; РГ –регулятор тяги; СП – следящий прибор; МП – магнитный пускатель; УП – указатели положения; 1 – топка котла; 2 – место измерения вверху топки; 3 – ключ переключателя управления; 4 – дымосос; 5 – электродвигатель направляющего аппарата дымососа

Измерительный блок воспринимает сигналы от датчиков, суммирует и сравнивает их с сигналами, который должен поступать при требуемом режиме работы.

На выходе из измерительного блока формируется сигнал рассогласования между действительным и заданным значениями сигнала.

Электронный блок воспринимает сигнал от измерительного и усиливает его во много раз. Электронный и измерительный блоки скомпонованы в общем корпусе регулирующего прибора. В примере на рис. 77 сигнал от датчика ДТ-2 поступает в регулирующий прибор, называемый регулятором разрежения РГ.

Оператор может изменить поддерживаемое разрежение газов вверху топки. Для того он изменяет заданный в измерительном блоке сигнал задатчиком Зд. С этим сигналом сравнивается сигнал, получаемый от датчика, установленного вверху топки. Усиленный в электронном блоке сигнал приводит в действие электродвигатель МЭО направляющего аппарата дымососа.

Переключатели управления (ПУ) оператор переключает цепи управления исполнительного механизма (ИМ) из положения «автоматическое регулирование» в положение «дистанционное управление» и обратно.

В систему автоматического регулирования входят корректирующие и контрольные приборы. В рассматриваемой САР следящий прибор СП автоматически выравнивает нагрузку обоих включенных параллельно дымососов. Кроме того, контроль положения лопаток направляющего аппарата каждого дымососа может осуществляться оператором по указателю положения УП.

Регулирование питания котла с естественной циркуляцией воды. Главным для регулирования (командными) являются сигналы об изменениях уровня воды в барабане.

Но командные сигналы должны уточняться. На рис. 78 в упрощенном виде представлены элементы котла и элементы САР питания котла.

Например при повышении давления в котле несколько уменьшается объем пара, поднимающегося в экранных трубах. При этом уровень воды в барабане снижается. Нагрузка котла по топливу остается прежней, и подача в котел питательной воды должна также оставаться неизменной. Если бы автоматическое регулирование производилось только по уровню воды, то снижение уровня привело бы к дополнительному открытию питательного клапана. В котел стало бы поступать излишнее количество воды и ее уровень в барабане вскоре поднялся бы выше требуемого, из-за чего поступление воды в котел было бы сокращено и т.д. Излишне большие изменения уровня воды могли бы стать опасными в случае, если одновременно с ними возникло бы новое изменение давления в котле. Избежать этого можно с помощью дополнительных сигналов (корректирующих), задачей которых является как бы торможение излишних сигналов.

Один из этих сигналов возникает по расходу пара, а второй по расходу воды на котел.

Все три сигнала поступают от датчиков, которыми являются дифференциальные манометры.

Схема автоматического регулирования питания котла с естественной циркуляцией воды

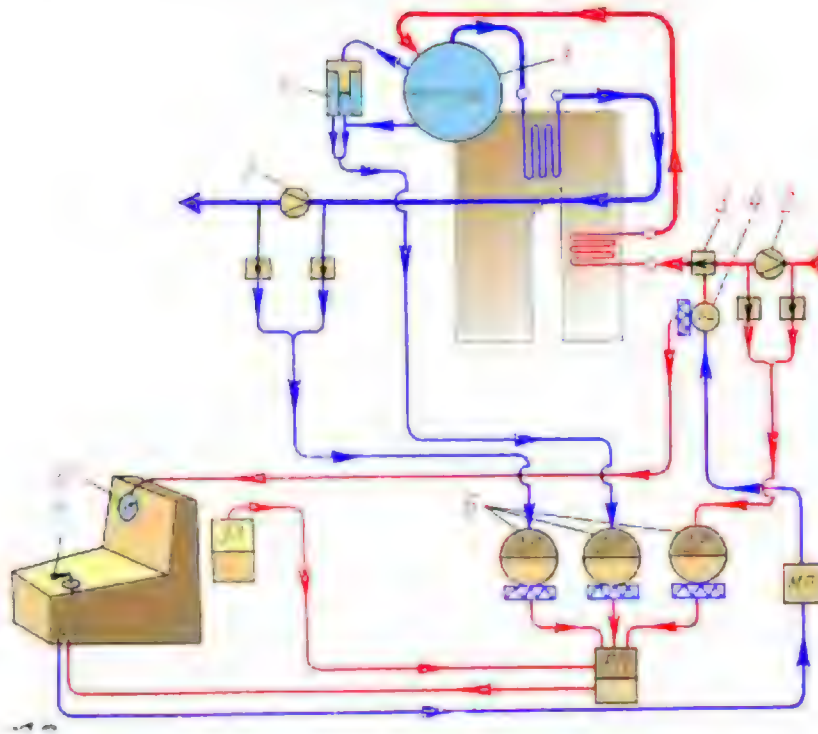


Рис. 78

РП – регулятор питания; 1 – барабан котла; 2 – расходомер; 3 – питательный регулирующий клапан; 4 – электродвигатель питательного клапана; 5 – уравнивательный сосуд; 6 – датчик; 7 – ключ переключателя управления

Контроль за уровнем воды осуществляется с помощью уравнивательного сосуда 5 (рис. 78), расположенного перед барабаном котла и соединенного с ним двумя трубами. Во внутренней части этого сосуда уровень воды изменяется так же, как в барабане.

В наружной части сосуда пар конденсируется, избыток стекает во внутреннюю часть сосуда, вследствие чего в наружной части поддерживается постоянный уровень воды. В датчике разность давлений воды в обеих частях сосуда преобразуется в электрический сигнал. Через задатчик ЭД оператор может изменить требуемое положение уровня воды в барабане.

Регулирование температуры пара. Основным сигналом для изменения подачи воды во впрыскивающий пароохладитель является изменение температуры пара за той поверхностью нагрева, которую данный пароохладитель предохраняет от чрезмерного нагревания.

Например, подача воды в пароохладитель, установленный перед конвективным пакетом пароперегревателя должна изменяться таким образом, чтобы температура пара в трубах этого пакета не превышала допустимую.

Эта температура измеряется термопарой 6 (рис. 79), установленной на выходном коллекторе пакета либо на одной из необогреваемых труб за этим коллектором 5.

Но температура пара за трубным пакетом изменяется не сразу и воздействие только этого сигнала не может обеспечить поддержание температуры пара в пределах допустимых отклонений.

Схема автоматического регулирования температуры перегретого пара барабанного котла

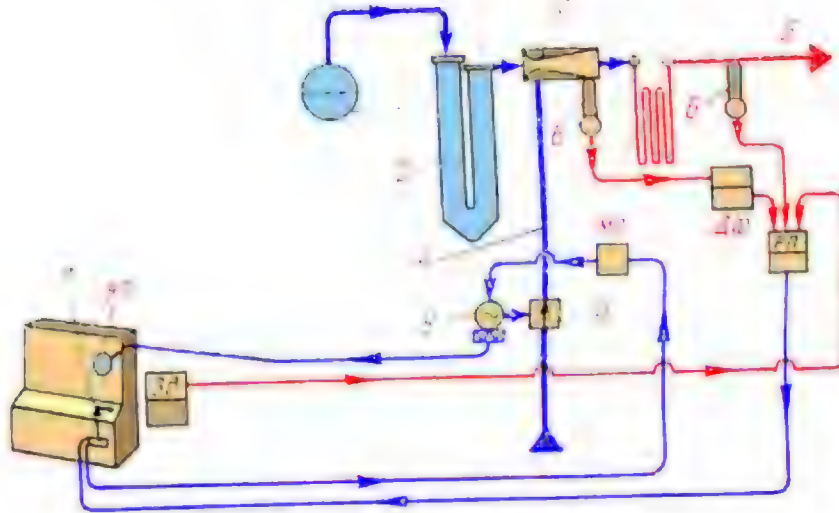


Рис. 79

ДФ – дифференциатор (остальные обозначения см на рис. 78); 1 – барабан котла; 2 – ширма; 3 – впрыскивающий пароохладитель; 4 – линия впрыскиваемой воды; 5 – выход перегретого пара; 6 – термopара; 7 – ключ переключателя управления; 8 – электродвигатель; 9 – регулирующий клапан.

Поэтому в схему регулирования вводится дополнительный сигнал по скорости изменения температуры пара непосредственно за пароохладителем. В начальный период времени регулирование впрыска происходит по дополнительному «скоростному» сигналу, формируемому дифференциатором ДФ (рис. 79), а в дальнейшем – по основному сигналу.

2.12.3. Автоматическая защита

Условия работы. Автоматическая защита выполняет операции, предупреждающие повреждение элементов оборудования в случаях, когда возникают опасные отклонения от правильного режима эксплуатации. Защитные автоматические устройства ликвидируют угрозу аварийного повреждения оборудования. Устройства технологических защит выполняют:

- останов котла;
- локальные операции.

Современные газомазутные котлы с естественной циркуляцией воды оснащаются, как правило, следующими технологическими защитами, действующими автоматически:

Защиты, действующие на останов котла.

1. Понижение уровня в барабане котла.
2. Повышение уровня в барабане котла до 2 предела.
3. Погасание факела в топке.
4. Понижение давления газа после регулирующего клапана.
5. Повышение давления газа после регулирующего клапана.
6. Понижение давления мазута после регулирующего клапана.
7. Отключение дымососов.
8. Отключение дутьевых вентиляторов.
9. Прекращение подачи воздуха к горелкам.
10. Недостаточная тяга в топке.
11. Повышение давления в барабане котла.
12. Повышение температуры перегретого пара.

Защиты, производящие локальные операции.

1. Повышение уровня в барабане до 1 предела.
2. Не воспламенение или погасание факела любой горелки при растопке котла.
3. Понижение давления распыливающего пара.

Величины уставок и значения выдержки времени их срабатывания определяются технической документацией завода – изготовителя и местными инструкциями по результатам наладочных испытаний.

2.13. АСУ ТП и эффективность работы персонала

Следует признать, что в отечественной энергетике очень медленными темпами вводятся автоматика и АСУ ТП с ЭВМ, реализующими управляющие функции. Тем не менее такие АСУ ТП в Красноярском крае смонтированы и работают на Красноярской ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2, ТЭЦ Ачинского глиноземного комбината, Березовской ГРЭС.

Структура АСУ ТП котлов и вспомогательного технологического оборудования котельного отделения имеет двухуровневую распределенную структуру.

- на верхнем уровне реализуется общие алгоритмы контроля, управления и расчетных задач;
- на нижнем уровне – алгоритмы локальных подсистем сбора, обработки информации и управления исполнительными механизмами.

Контроль и управление котлами и вспомогательным технологическим оборудованием котельного отделения производится с ГЩУ (главного щита управления), где предусмотрено автоматизированное рабочее место оператора технолога (АРМ ОТ).

Основным источником электро питания являются трехфазная сеть бесперебойного питания (АВГ) переменного тока напряжением 380/220 Вольт, частотой 50Гц.

Резервным источником питания - сеть постоянного тока напряжением 220 вольт (от аккумуляторных батарей).

При разработке АСУ ТП котлов и вспомогательного оборудования задачей ставилось обеспечение повышенного уровня автоматизации.

Исходя из этого система реализует следующие информационные и управляющие функции:

Информационные функции.

- сбор, первичная обработка и распределение информации;
- функция представления оперативной информации, основной массив оперативной информации представляется оператору на экранах мониторов в виде технологических видеокадров, графиков, таблиц и т.п.;
- сигнализация, предусматривается два вида сигнализации – предупредительная и аварийная, в обоих случаях для привлечения внимания оператора предусмотрено изменение цвета отключившегося параметра от его нормального значения со звуковым сопровождением;
- регистрация аварийных ситуаций, функцией предусмотрена автоматически включаемая фиксация состояния основного и вспомогательного оборудования и важнейших параметров в строгой временной зависимости при возникновении аварийных ситуаций;
- регистрация событий, (изменения состояния объектов, управления, моменты выхода параметров за уставки сигнализации, действия устройств защиты и автоматически, переключения режимов работы оборудования и автоматических устройств с помощью оперативных элементов управления АСУ ТП);
- функция «Ретро» - регистрация технологических параметров по свободно формируемым спискам;
- автоматическое ведение оперативной документации, функцией предусмотрено использование специальных отчетных форм, в которые автоматически вносятся текущие данные об изменении состава работающего оборудования и режимов (параметров) его работы;
- расчет техникоэкономических показателей, функцией предусмотрено проведение автоматизированного анализа параметров работы оборудования и обработка последних для определения показателей их экономичности.

Управляющие функции.

- дистанционное управление, с помощью подсистемы дистанционного управления оператор имеет возможность с АРМ управлять всей запорной и регулирующей электрифицированной арматурой, насосами и механизмами.
- технологические защиты, подсистемы технологических защит выполнена по логическому принципу с дублированием и имеет приоритет воздействия над другими подсистемами управления;

- АВР и блокировки, АВР и блокировки предназначены для производства логических операций, позволяющих осуществлять локальные переключения вспомогательного оборудования, выполнены по логическому принципу;
- автоматические подсистемы регулирования, построены по каскадному принципу, где регулятор верхнего уровня в качестве выходного элемента имеет аналогичный интегратор;
- логическое управление, под ним подразделяется пошаговое функционально – групповое управление (ФГУ) основным и вспомогательным оборудованием.

Оперативный персонал – неотъемлемая часть АСУ ТП.

В обязанности оператора входят:

- координация работы составных частей АСУ ТП;
- выявление неисправностей и отключений параметров объектов управления от нормы;
- принятие решений с учетом создавшейся обстановки во время непредвиденных сбоев автоматики и в нестандартных ситуациях, не предусмотренных разработчиками.

Выполнение таких решений зависит от знаний и активности оператора в экстремальной ситуации.

Системный подход к построению АСУ ТП заключается в раскрытии существенных необходимых устойчивых повторяющихся связей между всеми компонентами АСУ, включая оператора. При этом необходимо учитывать образование персонала, функциональную структуру АСУ ТП, развитие ее возможностей, а также связь с другими системами.

В этих условиях повышение квалификации, уровня обученности и тренированности персонала приобретает превалирующее значение.

В подготовке оперативного персонала можно выделить два основных аспекта: методы и технические средства обучения и тренажа.

Технические средства обеспечивают реализацию определенного метода обучения, и в этом плане эти два аспекта – неразделимы.

Цель подготовки оперативного персонала – дать по возможности больше практических знаний и навыков выполнения различных операций на объекте управления посредством тренажеров.

Суть тренажера – полностью повторить требуемое поведение персонала в процессе управления.

Для этого на тренажере должна быть точная копия щита управления и модель объекта, обеспечивающая имитацию его поведения в режиме реального времени.

Чрезмерное упрощение тренажеров приводит к опасности неверного обучения, выработке искаженных навыков.

3. РЕЗЮМЕ

Пройдя обучение по курсу «Паровые котлы», персонал должен изучить конструкцию котлов, требования по эксплуатации, охране труда и ТБ, знать предъявляемые к нему требования по выполнению должностных обязанностей.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ



1. Что такое энтальпия?
2. Основные параметры пара?
3. Первый Закон термодинамики?
4. Каким способом осуществляется теплообмен?
5. Что такое парообразование?
6. Что называется скрытой теплотой парообразования?
7. Какие виды топлива вы знаете?
8. Чем определяется качество топлива?
9. Понятие о топливном эквиваленте?
10. Тепловой баланс котла.
11. Тепловые потери, чем они определяются?
12. Коэффициент полезного действия брутто котла?
13. Коэффициент избытка воздуха?
14. Что такое котельная установка?
15. Для чего нужен пароперегреватель?
16. Что относится к котельно – вспомогательному оборудованию?
17. Какие бывают котлы?
18. Принцип работы котла с естественной циркуляцией воды?
19. Какие конструкции пароперегревателей вам известны?
20. Назначение экономайзера?
21. Как komponуются колы (паровые, водогрейные и др.)?
22. Топочные устройства для сжигания мазута и газа?
23. Условия устойчивой работы горелок?
24. Какие элементы котла вы знаете?
25. Что вы понимаете под сепарацией пара?
26. Как влияет пенообразование на качество пара?
27. Назначение барабана и котлов с естественной циркуляцией.
28. Зачем нужно ступенчатое испарение?
29. Условия применения ступенчатого испарения?
30. Принцип осуществления циркуляции в котле?
31. Что понимается под циркуляционным контуром?
32. Чем опасно изменение уровня в барабане котла?
33. Для чего нужна периодическая продувка экранов?
34. Какие виды коррозии экранных труб вы знаете?
35. Какие конструкции пароперегревателей вам известны?
36. Схемы движения пара в пароперегревателе?
37. Что такое температурный напор?

38. Способы регулирования температуры пара?
39. Что влияет на изменение температуры перегретого пара?
40. Устройства для регулирования температуры пара?
41. Какие условия работы пароперегревателя при растопке котла?
42. Назначение экономайзеров, типы?
43. Для чего нужна линия рециркуляции между барабаном котла и экономайзером?
44. Виды воздухоподогревателей?
45. Неполадки в работе воздухоподогревателей?
46. Взаимное расположение, компоновка экономайзеров?
47. Основные характеристики тяго - дутьевых машин?
48. влияние направления открытия шиберов на работу дымососов и вентиляторов?
49. Как влияет конструкция шиберов на работу вентиляторов?
50. Понятие о естественной тяге самотяга дымовой трубы?
51. Для чего нужен каркас котла?
52. Виды (типы) обмуровок?
53. Назначение обмуровки?
54. Для чего производится очистка поверхностей нагрева?
55. Оборудование для очистки конвективных поверхностей нагрева?

5. Литература

1. Б.В. Сазанов, В.Н.Юренев, М.И.Баженов, А.С.Богородский под общей редакцией Е.Я.Соколова.
2. Промышленные тепловые электростанции. «Энергия», 1967 г.
3. Н.И.Верховский, Г.К.Красноселов, Е.В.Машилов, Л.М.Циркульников. Сжигание высокосернистого мазута на электростанциях. «Энергия», 1970 г.
4. А.А. Вознесенский. Повышение экономической электростанции небольшой мощности. Госэнергоиздат, 1961г.
5. Справочная книжка энергетика. «Энергия», 1978 г.
6. Теплоэнергетика и теплотехника. Общие вопросы. Справочник. Под общей редакцией В.А. Григорьева и В.М. Зорина.
7. Долговский Н.М. Тепловые электрические станции и тепловые сети. Госэнергоиздат, 1963 г.
8. Д.Н.Кемельман, Н.Б. Эскин, А.А. Давыдов.
9. Наладка котлоагрегата. «Энергия», 1976 г.
10. Г.Р. Либерман. Предупреждение аварий и неполадок котельного оборудования. Минкомхоз, Москва, 1962 г.
11. М.В. Мейкляр. Паровые котлы электростанций. «Энергия», 1974 г.
12. Справочник эксплуатационника газовых котельных. Под редакцией Е.Б. Столпнера. «Недра», Ленинград, 1976 г.
13. Ю.В. Днепров; Д.Н. Смирнов, М.С. Файнштейн.

14. Монтаж котельных установок малой и средней мощности. «Высшая школа», Москва, 1975 г.
15. С.Т. Воронков, Д.З. Исэров. Обмуровка стационарных шаровых котлов шипиловых электростанций. Москва «Высшая школа», 1983 г.
16. А.Ф. Дьяков. Надежная работа персонала в энергетике. Фирма «Рера», Самара, 1993 г.